



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200480034553.3

[45] 授权公告日 2009 年 10 月 14 日

[11] 授权公告号 CN 100549751C

[22] 申请日 2004.11.24

US6611282B1 2003.8.26

[21] 申请号 200480034553.3

US3361512A 1968.1.2

[30] 优先权

US5473474A 1995.12.5

[32] 2003.11.24 [33] US [31] 10/721,194

审查员 章 锦

[86] 国际申请 PCT/US2004/039444 2004.11.24

[87] 国际公布 WO2005/052667 英 2005.6.9

[85] 进入国家阶段日期 2006.5.23

[73] 专利权人 电子手写产品公司

地址 美国加利福尼亚州

[72] 发明人 M·J·曼德拉

[56] 参考文献

US4655555A 1987.4.7

EP0883302A2 1998.5.29

EP0371511A2 1989.11.30

CN1421724A 2003.6.4

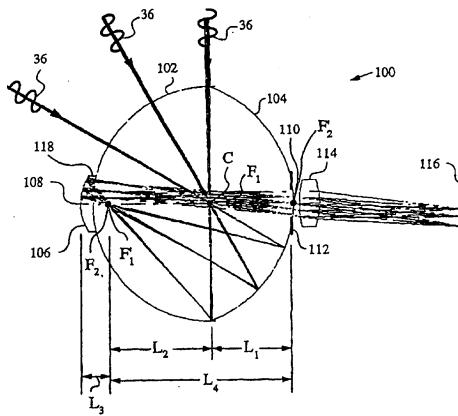
权利要求书 2 页 说明书 13 页 附图 10 页

[54] 发明名称

具有单视点的立体反折射透镜

[57] 摘要

带有单视点的立体反折射透镜(100)具有在透镜光轴上具有中心 C 的球形折射表面(102)。透镜的椭球体反射表面(104)面对球形折射表面，使得其具有与所述中心 C 重合的第一焦点 F₁。此外，透镜还具有面对所述椭球体反射表面用于成形通过所述单视点的光的成形表面(106)。成形表面可以是反射的、折射的或半透明的，并且它的性质可以是椭球形的而它的第一焦点 F₁' 与椭球体反射表面的第二焦点 F₂ 重合。透镜的单视点在球形反射表面的中心 C 处并且通过依赖于成形表面类型选择位于透镜内部、表面甚至外部各点的孔径(112)而得以实施。



1. 一种在光轴上具有单视点的立体反折射透镜，包括：
 - a) 在所述光轴上具有中心 C 的球形折射表面；
 - b) 面对所述球形折射表面的凹面并且具有与所述中心 C 重合的第一焦点 F₁ 以及第二焦点 F₂ 的椭球体反射表面，其中所述中心 C 是所述单视点，所述第一焦点 F₁ 和所述第二焦点 F₂ 都在所述光轴上；以及
 - c) 面对所述椭球体反射表面用于成形通过所述单视点的光的成形表面，其中所述立体反折射透镜还包括用于实施所述单视点的孔径，所述第一焦点 F₁ 相对于所述第二焦点 F₂ 远离所述球形折射表面。
2. 如权利要求 1 所述的立体反折射透镜，其特征在于，所述成形表面是折射成形表面。
3. 如权利要求 2 所述的立体反折射透镜，其特征在于，所述孔径位于所述椭球体反射表面的第二焦点 F₂ 处，所述第二焦点 F₂ 靠近所述球形折射面。
4. 如权利要求 3 所述的立体反折射透镜，其特征在于，所述第二焦点 F₂ 在所述光轴上并大致位于所述折射成形表面处。
5. 如权利要求 3 所述的立体反折射透镜，其特征在于，所述第二焦点 F₂ 在所述光轴上并在所述立体反折射透镜内部。
6. 如权利要求 2 所述的立体反折射透镜，其特征在于，所述折射成形表面是椭球体折射成形表面。
7. 如权利要求 6 所述的立体反折射透镜，其特征在于，所述椭球体折射成形表面具有与所述第二焦点 F₂ 重合的第一焦点 F₁'，所述第二焦点 F₂ 靠近所述球形折射面。
8. 如权利要求 7 所述的立体反折射透镜，其特征在于，所述椭球体折射成形表面具有与所述椭球体反射表面的圆锥常数 K₁ 相等的圆锥常数 K₂。
9. 如权利要求 1 所述的立体反折射透镜，其特征在于，所述成形表面是反射成形表面并且所述立体反折射透镜还包括用于实施所述单视点的孔径。
10. 如权利要求 9 所述的立体反折射透镜，其特征在于，所述孔径被设置于所述椭球体反射表面处。
11. 如权利要求 9 所述的立体反折射透镜，其特征在于，所述孔径被设置

于所述椭球体反射表面之上。

12. 如权利要求 9 所述的立体反折射透镜，其特征在于，所述反射成形表面是第二椭球体反射成形表面。

13. 如权利要求 12 所述的立体反折射透镜，其特征在于，所述第二椭球体反射成形表面具有与所述第二焦点 F_2 重合的第一焦点 F_1' ，所述第二焦点 F_2 靠近所述球形折射面。

14. 如权利要求 12 所述的立体反折射透镜，其特征在于，所述第二椭球体反射成形表面具有与所述椭球体反射表面的圆锥常数 K_1 相等的圆锥常数 K_2 。

15. 如权利要求 1 所述的立体反折射透镜，其特征在于，还包括折射率为 n 的光学材料。

16. 如权利要求 1 所述的立体反折射透镜，其特征在于，所述成形表面是半透明成形表面。

17. 如权利要求 1 所述的立体反折射透镜，其特征在于，所述成形表面选自平坦成形表面、椭球体成形表面和抛物面成形表面。

18. 一种单视点视觉系统，包括：

a) 具有光轴的立体反折射透镜；

b) 在所述光轴上具有中心 C 的球形折射表面；

c) 面对所述球形折射表面的凹面并且具有与所述中心 C 重合的第一焦点 F_1 以及第二焦点 F_2 的椭球体反射表面，其中所述中心 C 是所述单视点，所述第一焦点 F_1 和所述第二焦点 F_2 都在所述光轴上；以及

d) 面对所述椭球体反射表面用于成形通过所述单视点的光的成形表面，

其中所述立体反折射透镜还包括用于实施所述单视点的孔径，所述第一焦点 F_1 相对于所述第二焦点 F_2 远离所述球形折射表面。

19. 如权利要求 18 所述的单视点视觉系统，其特征在于，还包括用于通过所述光的光学中继。

20. 如权利要求 18 所述的单视点视觉系统，其特征在于，所述成形表面选自反射成形表面、折射成形表面以及半透明成形表面。

21. 如权利要求 18 所述的单视点视觉系统，其特征在于，所述成形表面选自平坦成形表面、椭球体成形表面和抛物面成形表面。

22. 如权利要求 18 所述的单视点视觉系统，其特征在于，还包括选自扫描装置、成像元件和显示单元的元件。

具有单视点的立体反折射透镜

技术领域

本发明总的涉及关于其中需要单视点的诸如视觉和成像等应用的透镜，尤其涉及具有单视点的反折射透镜。

背景技术

在诸如自我运动估计和跟踪的计算性视觉中的应用通常需要成像较大的视场。也希望成像系统具有单视点以从该成像系统获取的全景图中产生几何学上正确的透视图。单一并固定的视点限制要求在三维空间中的成像系统仅捕获通过单个点的光，从而在已知作为有效视点的点处采样 5 维全光(plenoptic)函数。这些成像系统可由曲面镜和透镜的组合体识别。虽然这些反折射系统具有较大视场并能够满足单视点的要求，但是它们笨重，昂贵并且巨大。

许多宽视场光学使用涂层镜以视场变暗为代价来产生高质量的像。图 1 示出了现有技术中这一类型的光学系统 10 的一个简单实例。系统 10 具有在光轴 16 上排列的两面涂层镜 12 和 14。镜 14 接收来自景物 20 的光并将其反射给镜 12。镜 12 再将光反射回镜 14，这样光就通过镜 14 中的孔径 18 并在屏幕 24 上投影景物 20 的像 22。

镜 12 使得由镜 14 可见的视场锥形中央部分 26 变暗。这一变暗的结果是造成了像 22 中的阴影 28。为了成像，来自景物 20 的光必须以大于锥形 26 的角（例如相对于轴 16 的入射角 θ_i ）的角度入射在镜 14 上。

现有技术包括关于望远镜及其他使用上述原理系统的教示。例如，Sigler 的美国专利 No. 5,089,910 公开了带有两个镜的反折射变焦中继望远镜，其中两镜中的第一镜或主镜是非球面的。Sinclair 等人的美国专利 No. 5,940,222 公开了使用相同原理的反折射变焦透镜组合体。

诸如机器人视觉和全景成像的某些应用要求光学系统具有单视点。这一条件使得该光学系统得以产生在它的视场中对象的透视图。在某些应用中，还期

望最大化成像自单视点的视场大小。

在单系统内很难满足上述所有条件。反折射变焦中继望远镜和透镜组合体通常被限制在较小的视场，并且很多并不具备单视点。事实上，许多高质量系统提供完美的轴上性能但固有地不具备单视点，例如 Hicks 在美国专利 No. 6,412, 961 中公开的那样。Powell 在美国专利 No. 5,473, 474 中公开了成像大视场但缺乏单视点的全景透镜。而使用涂层镜结构的另一种方法在 Kuroda 等人的美国专利 No. 5,854, 713 中也有所体现。该专利描绘了内凹的反射型视角转换光学装置，但仍旧缺乏单视点。另一个值得注意的是 Charles 在美国专利 No. 6,449, 103 中示出的反折射系统。另外还值得参考的包括公开了抛物平面反射器的美国专利 No. 4,566, 763 和公开了双曲线反射器的美国专利申请 No. 2003/0142203。

现有技术并为教示具有单视点的系统。例如，Rees 在美国专利 No. 3,505, 465 中公开了任何使用双曲线镜产生用于个人观看图像（诸如 TV 或由摄影机产生的视频图像）的单视点系统。最近，Nayar 在美国专利 No. 5,760, 826 和 6,118, 474 中描述了使用大致呈抛物平面形的反射器来成像的成像装置，其中所述反射器的焦点符合单视点。这一成像装置具有光学耦合至抛物线形反射器的远心装置，用于滤出不是由该抛物线形反射器正射的电磁辐射主光线。

不幸的是，现有技术都没有提供可在要求在大视场内分布对象的全景投影或透视图的视觉系统中使用的紧密、有效并易于制造的单视点透镜。

目的和优点

由上所述，本发明的一个目标在于提供一种紧密、有效、坚固并易于制造，同时具有单视点和大视场的反折射透镜。尤其是，本发明的一个目标在于提供能够在诸如要求全景投射的视觉系统的视觉系统中使用的单视点反折射透镜。

一旦阅读了后续描述，本发明的这些和其他目标和优点将变得显而易见。

发明内容

本发明的目标和优点由带有单视点的立体反折射透镜保证。该透镜具有光轴以及位于光轴上并且其中心为 C 的球形折射表面。该透镜具有面对球形折射表面排列的椭圆形反射表面，使得该椭球体反射表面的第一焦点 F₁ 与球形折射

表面的中心 C 重合。该透镜的单视点位于球形折射表面的中心 C。此外，该透镜还具有面对椭球体反射表面的成形表面，用于成形通过该单视点的光，其中该透镜还包括用于实施所述单视点的孔径。

在一组实施例中，成形表面是折射成形表面并且透镜具有迫使单视点位于中心 C 的孔径。该孔径位于椭球体反射表面的第二焦点 F₂ 处。构造透镜使得椭球体反射表面的第二焦点 F₂ 像第一焦点 F₁ 一样位于光轴上。

在成形表面是折射成形表面的某些实施例中，第二焦点 F₂ 的位置接近或者就位于折射成形表面上。在使用折射成形表面的另一些实施例中，第二焦点 F₂ 在透镜内。折射成形表面能够呈现各种形状，但是最好是椭圆形，从而形成椭圆折射成形表面。出于光成形的理由，也同样优选其第一焦点 F₁' 与椭球体反射表面的第二焦点 F₂ 重合的椭圆折射成形表面。在某些实施例中，最好使得椭圆折射成形表面的圆锥常数 K₂ 等于椭球体反射表面的圆锥常数 K₁。

在另一组实施例中，成形表面是反射表面并且孔径被用于实现单视点。例如在该组的某些实施例中，该孔径位于椭球体反射表面上。在可选实施例中，该孔径远离椭球体反射表面。同样出于光成形的理由，该反射表面最好是第二椭球体反射成形表面。此外在某些特定的实施例中，第二椭球体反射成形表面具有与椭球体反射表面的第二焦点 F₂ 重合的第一焦点 F₁'。在某些特定实施例中，第二椭球体反射成形表面的圆锥常数 K₂ 等于椭球体反射表面的圆锥常数 K₁。

应该认识到无论成形表面是折射或反射的，它都能够呈现包括圆锥部分的形状。可选地，成形表面也可以是平的。此外，成形表面也不仅仅是折射或反射的，它也可以是半透明的。

最好使用折射率为 n 的光学材料制造立体反折射透镜。合适的材料包括玻璃、塑料和其他已知的光学材料。

本发明还提供单视点视觉系统。视觉系统利用立体反折射透镜来成形通过单视点的光。应该注意到视觉系统可以分别用于为诸如扫描或成形而进行光投影或光收集。在使用透镜成像的实施例中，可以提供成像元件用于光在像平面板内成像单元或屏幕上的成像。在扫描应用中，提供扫描装置。

在某些实施例中，使用光学中继来使来自透镜的光通过应用设备。例如，在成像视觉系统内配置透镜时，可使用光学中继以使得光通过像平面。在扫描

视觉系统中，可使用光学中继将来自扫描元件（例如，扫描镜）的光送至透镜。

如下将参考附图在详尽描述中解释本发明的细节。

附图说明

图 1（现有技术）是示出了一类离轴光学系统的三维图。

图 2 是示出根据本发明的一个透镜实施例的横截面侧视图。

图 3 是成像时使用的图 2 透镜的横截面侧视图。

图 4 是示出根据本发明的另一个透镜实施例的横截面侧视图。

图 5 是根据本发明的带有交叠几何形状的透镜的横截面侧视图。

图 6 是带有交叠几何形状的另一个透镜的横截面侧视图。

图 7 是用于投影或成像的交叠透镜的横截面侧视图。

图 8 是示出了具有成像元件并利用图 7 透镜的视觉系统的三维示图。

图 9 是示出了具有扫描排列并利用图 7 透镜的另一个视觉系统的横截面侧视图。

图 10 是根据本发明的又一个透镜的横截面侧视图。

图 11 是类似于图 2 所示透镜并带有光学中继的透镜横截面侧视图。

具体实施方式

通过首先参考图 2 中以横截面侧视图形式示出的单视点立体反折射透镜 30 的实施例将最好地理解本发明。透镜 30 具有光轴 32 并由折射率为 n 的光学材料制成。光学材料优选是均匀的并其呈现出的折射率变化基本上为零或很小。合适的材料包括玻璃、诸如可模压塑料的塑料以及其他光学材料。

透镜 30 具有其中心 C 位于光轴 32 上的球形折射表面 34。传播至中心 C 的光 36 以及来自中心 C 的光 36' 以垂直入射方式穿过球形折射表面 34。球形折射表面 34 定义了透镜 30 通过其收集光 36 并将光 36' 投射入其中的立体角 Θ 。

透镜 30 具有面对球形折射表面 34 的椭球体反射表面 38。可通过对其提供反射涂层或薄膜 40（如此实施例中所示）或通过其他方法使得椭球体反射表面 38 具有反射性。椭球体反射表面 38 通过旋转如虚线 38' 所示的数学椭圆来形成。更具体地，表面 38 可通过绕光轴 32 旋转椭圆 38' 而定义。表面 38 可被定向以

使得第一焦点 F_1 与球形折射表面 34 的中心 C 在光轴 32 上重合。由表面 38 定义的第二焦点 F_2 的也在光轴 32 上并位于透镜 30 内。

透镜 30 具有面对椭球体反射表面 38 的成形表面 42，用于成形通过中心 C 的光 36 和 36'。实际上，中心 C 是透镜 30 的视点。提供孔径 44 以确保中心 C 是透镜 30 的唯一视点。换句话说，孔径 44 实现了透镜 30 的单视点。优选地，通过嵌入透镜 30 光学材料内的物并在第二焦点 F_2 处具有针孔或光阑来形成孔径 44。可选地，孔径 44 可由透镜 30 的光学材料的非透明部分定义。本领域熟练技术人员将认识到可以使用很多其他方法定义孔径 44。

成形表面 42 可以采用任何形状并可位于孔径 44 之后的任何位置甚至就在孔径 44 处，只要发现这适合于为给定应用成形光 36 和 36'。在此实施例中，成形表面 42 是折射成形表面，用于光 36 和 36'进入和离开透镜 30。实际上，折射成形表面 42 是通过绕光轴 32 旋转由虚线示出的数学椭圆 42'形成的椭圆折射成形表面。出于光成形的原因，该椭圆折射成形表面 42 最好使其第一焦点 F_1' 与由表面 38 定义的第二焦点 F_2 重合，并且使其第二焦点 F_2' 位于光轴 32 上并在透镜 30 内。更优选地，表面 42 的圆锥常数 K_2 ，它等于：

$$K_2 = -\frac{1}{n^2}$$

其中 n 是光学材料的折射率。在此情况下，通过立体角 Θ 进入透镜 30 的光 36 通过表面 42 以基本平行于光轴 32 的方向从透镜 30 中呈现。如在本实施例中，还可能设置表面 38 的圆锥常数 K_1 等于圆锥常数 K_2 。

平面 46 放置在透镜 30 之前。当透镜 30 收集以与光轴 32 成 θ_i 的入射角到达的光 36 时，平面 46 随后就可以是在其上投射光 36 的屏。按此模式，透镜 30 可用于成像。可选地，平面 46 以大致与光轴 32 平行的方式将光 36'射入透镜 30。按此模式，透镜 30 将光 36'投射入立体角 Θ 并可用于像的投影。

参考图 3 的横截面侧视图说明用于广视场成像的透镜 30 的操作。视场由透镜 30 通过其收集光 36 的立体角 Θ 定义。应该注意到角 Θ 关于光轴 32 对称。

放置透镜 30 使得它位于中心 C 的单视点比物平面 48 高 h。多个物点 P_1 、 P_2 、 P_3 和 P_4 位于物平面 48 上（点 P_3 和 P_4 在平面 48 上远离光轴 32）。光 36 从物平面 48 发出并在光束 50、52、54 和 56 中传播至透镜 30。点 P_1 位于视场的一边使得从中发出的光束 50 以最小入射角 θ_{min} 进入透镜 30。点 P_4 位于视场

的另一边使得从中发出的光束 56 以最大入射角 θ_{\max} 进入透镜 30。透镜 30 的设计使得最大入射角 θ_{\max} 能接近 90° 。以虚线画出光束 50 和 56 以指示它们限制透镜 30 的视场。

光束 50,... 56 通过球形折射表面 34 进入透镜 30。随后它们通过位于中心 C 的单视点并传播至反射椭圆表面 38。在表面 38 处，光束 50,... 56 被反射至椭圆折射成形表面 42。孔径 44 通过允许光束 50,... 56 继续传播至椭圆折射成形表面 42 同时阻止通过球形折射表面 34 进入但没有通过中心 C 处的单视点的光来实现单视点。

因为表面 38 和 42 的圆锥常数 K_1 和 K_2 是相等的，即 $K_1 = K_2 = -1/n^2$ ，并且焦点 F_2 和 F_1' 重合，所以光束 50,... 56 的光 36 在离开透镜 30 时与光轴 32 大致平行。这是期望的成形类型，因为光束 50,... 56 被投影在像平面 46 上而无需请求进一步的光学成形。物平面 48 上的点 P_1, \dots, P_4 由此可被成像至像平面 46 上的对应被成像点 P_1', \dots, P_4' 。

透镜 30 的优点在于以相等角度间隔或视场角射在折射表面 34 上的光束 50,... 56 被按照在离开椭圆折射成形表面 42 时与光轴 32 的距离被线性映射。这就意味着在相等视场角处的物点 P_1, \dots, P_4 被映射至在像平面 46 内基本相互等分的被成像点 P_1', \dots, P_4' 。视场角和在像平面 46 内离光轴的距离之间的大致呈线性的映射在许多成像应用中是有用的，并在有时被称为 $f-\theta$ 成像。

图 4 是单视点反折射透镜 60 的另一个实施例的横截面侧视图。透镜 60 由折射率为 n 的可模压塑料制成并具有其中心 C 位于光轴 64 上的球形折射表面 62。表面 62 面对椭球体反射表面 66。排列这两个表面使得由表面 66 定义的第一焦点 F_1 与中心 C 重合。成形表面 68 面对表面 66。在此实施例中，成形表面 68 是反射性的并是抛物平面形的，这样就形成了抛物平面反射成形表面。表面 68 由光轴 64 上的单焦点 F_1' 定义。此外，焦点 F_1' 与表面 66 的第二焦点 F_2 重合。在此实施例中，表面 66 和 68 的圆锥常数 K_1 和 K_2 不等。

透镜 60 具有孔径 70，用于实现中心 C 处的单视点。因为光无法通过抛物平面反射成形表面 68，所以孔径位于面对表面 66 处。在此实施例中，孔径 70 被定义在椭球体反射表面 66 之内或之上。例如，孔径 70 是覆盖表面 66 的反射涂层或薄膜内的针孔。另外，孔径 70 可放置在表面 66 之后或之前。

用于发射光 36'的投影单元 72 位于表面 66 之后并以光轴 64 为中心。单元 72 可以是光发射器阵列，并且在这里用于说明用于将光 36'投影入由角 Θ 指示的视场的透镜 60 的应用。视场定义最小发射角 σ_{\min} 以及最大发射角 σ_{\max} 。单元 72 从诸如像素 74 的发射器中发出光 36'，像素 74 离光轴 64 足够远以映射至发射角 σ ，其中 $\sigma_{\min} < \sigma < \sigma_{\max}$ 。例如，从离光轴 64 距离 d 处的像素 74 发出的光 36'被允许通过孔径 70 进入透镜 60 并以发射角 σ 发射。本领域普通技术人员应该认识到可以在表面 66 和单元 72 之间放置诸如透镜和反射镜的附加光学元件以执行任何特定应用可能要求的各种光成形以及引导功能。

在一个应用中，使用透镜 60 把光 36'投影入它的视场。单元 72 激活像素 74，用于将光 36'以与光轴 64 呈 σ 的发射角发射。光 36'平行传播并从光轴 64 偏移距离 d，并且被允许通过孔径 70 进入透镜 60。透镜 60 的光引导属性在光 36'通过球形折射表面 62 离开透镜 60 时将光 36'映射至角 σ 。

在另一个应用中，可以使用透镜 60 来收集从视场到达的光 36，例如以入射角 $\theta_i = \sigma$ ，其中入射角 $\theta_i = \sigma$ 大于最小入射角 $\theta_{\min} = \sigma_{\min}$ 并小于最大入射角 $\theta_{\max} = \sigma_{\max}$ 。

可以使用许多方法修改本发明单视点反折射透镜的几何形状。例如，透镜的椭圆表面可以是交叠的。图 5 示出了具有外部轮廓 82 和 84 的交叠单视点反折射透镜 80 的一个实施例。透镜 80 具有其中心 C 与单视点重合的球形折射表面 86。具有第一焦点 F₁ 和第二焦点 F₂ 的椭球体反射表面 88 面对表面 86，并且它的第一焦点 F₁ 与中心 C 重合。在此以具有第一和第二焦点 F₁' 和 F₂' 的第二反射椭圆成形表面的形式的成形表面 90 面对表面 86。所有的焦点都在光轴 87 上。

旋转以形成表面 88 和 90 的椭圆 92 和 94 为了明晰由虚线指示。与先前实施例相对的是，椭圆 94 的第二焦点 F₂' 在视点或中心 C 的另一侧甚至可以在表面 88 之后。椭圆 92 和 94 以及由其旋转形成的表面 88 和 90 的重叠产生了在此被称为交叠的几何形状。

在外部轮廓 82 上借助反射涂层或薄膜（未示出）形成第二反射椭圆成形表面 90。可以缩减表面 90 的尺寸以增大透镜 80 的视场。外部轮廓 84 从表面 88 中伸出并在平耦合面 96 处终结。面 96 是透明的并且放置面 96 以使得表面

90 的第二焦点 F_2' 落在其上。实际上，面 96 的大小定义了在中心 C 处实现单视点的透镜 80 的孔径。如果希望小孔径，随后就在面 96 上加罩，并且罩内的中央开口可以定义该孔径。

为了理解透镜 80 的操作，我们跟随光 36 的入射光束 98 进入透镜 80，同时应该认识到透镜 80 也可以投影光 36'。光 36 通过表面 86 进入透镜 80，通过位于中心 C 的单视点并由表面 88 反射。由数学知识可知光通过椭圆形一个焦点并在它的第二焦点处内部反射会聚，于是光 36 就传播至第二焦点 F_2 。通过设计，第二焦点 F_2 能够与同样是椭圆体的表面 90 的第一焦点 F_1' 重合，这样就对光 36 实施了相同的数学规则。更具体地，光 36 从表面 90 反射并在耦合面 96 上的第二焦点 F_2' 会聚。

光 36 通过面 96 出耦合，并可按需由透镜 80 的展开条件来进一步成形、偏离和/或导引。例如，可以把成形元件放在面 96 之后以引导光 36 进入像平面。或者，可以在那里放置光学中继以成形并引导光 36。

通过具有图 6 中的光线路径的反折射透镜 100 具体实现另一个交叠几何形状。透镜 100 的基本几何形状由 9 个几何设计参数描述：R、 R_1 、 K_1 、 R_2 、 K_2 、 L_1 、 L_2 、 L_3 和 L_4 。前五个参数分别表示：球形折射表面 102 的半径、椭球体反射表面 104 的曲率半径、表面 104 的圆锥常数、第二椭球体反射成形表面 106 的曲率半径、表面 106 的圆锥常数。参数 L_1 、 L_2 、 L_3 和 L_4 对应所示的长度。此外，108 是表面 106 的顶点，110 是表面 104 的顶点，而 112 是实现透镜 100 单视点的孔径。应该注意到表面 106 的第二焦点 F_2' 落在孔径 112 内的表面 104 上。应该注意到在此实施例中，表面 106 位于外部轮廓 118 上。

透镜 100 的设计是完全闭合形式解。这样，任何使用透镜 100 的任何视觉系统的光线性能大部分都依赖于它光学中继的设计。在此实施例中，单个中继透镜 114 表示以光 36 的单波长在像平面 116 内成像的光学中继。本领域普通技术人员应该理解可以使用带有平像场器的更消色差的光学中继来进行有色成像。

可以通过改变 R、R₁ 和 R₂ 的值将透镜 100 缩放为不同的尺寸。透镜 100 的大体形状和它的角度放大率受参数 K₁ 和 K₂ 的比率控制。一旦调节这些参数，就可使用随后的等式找出 L₁、L₂、L₃ 和 L₄：

$$L_1 = R_1 \frac{[1 - \sqrt{-K_1}]}{1 + K_1};$$

$$L_2 = \frac{2R_1\sqrt{-K_1}}{1 + K_1};$$

$$L_3 = R_2 \frac{[1 - \sqrt{-K_2}]}{1 + K_2};$$

$$L_4 = \frac{2R_2\sqrt{-K_2}}{1 + K_2}.$$

这就确保了第二椭球体反射成形表面 106 的第一几何焦点 F₁'与椭球体反射表面 104 的第二几何焦点 F₂重合。该实施例示出了其中 L₄=L₁+L₂ 的特殊情况，即第二椭球体反射成形表面 106 的第二几何焦点 F₂'重叠在椭球体反射表面 104 的顶点 110 上。如上所述，这就使得依赖于期望的光强度的其直径约为 2 mm 或更小的孔径 112 落在顶点 110 上。较佳地，孔径 112 是椭球体反射表面 104 在使用诸如铝的反射涂层涂布整个表面 104 之前被屏蔽的那一部分。

图 7 示出了又一个交叠单视点透镜 120，没有任何外部轮廓和由立体角 Θ 描述的视场。透镜 120 具有面对椭球体反射表面 124 的球形折射表面 122，使得表面 122 的中心 C 与表面 124 的第一焦点 F₁ 重合。表面 124 面对半透明的椭球体成形表面 126 使得表面 124 的第二焦点 F₂ 与表面 126 的第一焦点 F₁'重合。表面 126 的第二焦点 F₂'落在孔径 128 内的表面 124 上。中心 C 和全部的焦点都在透镜 120 的光轴 130 上。

挨着表面 124 放置的光学中继 132 用于把显示单元 134 生成的光 36'导入透镜 120。更具体地，中继 132 是把平行光轴 130 传播的光 36'导入透镜 120 的远心中继。中继 132 将光 36'偏离光轴 130 的距离 d 转换成透镜 120 的允许进入角 α。参考量 f 指示中继 132 的焦距。依靠中继 132 的设计，允许进入角 α 是在角 α 值较小时距离 d 的大致线性函数。

操作期间，对光轴 130 的偏移距离为 d 的显示单元 134 的像素 136 生成光

36'。中继 132 把光 36'以允许进入角 α 导入透镜 120。光 36'从半透明表面 126 和表面 124 反射，并在随后以发射角 σ 通过表面 122 离开透镜 120。在此过程期间，角 α 被“放大”至角 σ 并且角度放大率由 σ/α 给出。光 36'的部分 138 经由半透明表面 126 离开透镜 120。部分 138 可用于监控透镜 120 和/或显示单元 134 的操作。部分 138 还可用于验证透镜 120 以及显示单元或其他功能的校准。本领域普通技术人员应该认识到半透明表面 126 的透明度可依靠这些功能进行调整。也应该注意到半透明表面 126 的透明度可依赖于光 36'的波长。

在另一实施例中，通过接收光 36 并且使其投影到像素 136 上来相反地操作透镜 120。在该情形中，用感光元件（例如成像阵列的成像元件）来代替显示单元 134。该阵列像素 136 是感光的。注意到光 36 的一部分透射过半透明表面 126。

从上述设计的一个小示例中清楚可见，根据本发明的反折射透镜功能多、结构简单、坚固且易于生产。可将其分为几个部分或通过诸如模制的技术整体制造。它们的光学性能极大地取决于表面精度，以及把光传送至并从中收集光的辅助光学中继的设计。应该基于视觉系统或应用来设计这些中继，并基于该系统是带有成像元件、扫描装置或显示元件的系统来选择特定的设计。

图 8 示出了使用具有反射椭球体表面 126'而非半透明状表面 126 的透镜 120 的单视点视觉系统 140。视觉系统 140 具有成像元件 142，例如具有像素 144 的图像阵列（为清楚起见仅示出部分）。阵列 142 位于表面 124 之后的像平面 146 中。清楚起见在此没有示出在表面 124 和像平面 146 之间的光学中继。但是，任何种类的中继，包括图 7 所示远心中继都可用在透镜 120 和成像阵列 142 之间。

表面 126'将透镜 120 的视场限制在由立体角 Θ 描述的离轴区域中。因此，当视场中心很模糊或者无需成像时，视觉系统 140 最为有用。视场中心对应于像平面 146 中的阴影 148。为解释清楚起见，并未在表面 124 上显示实施视点 C 的孔径 128，且放大示出像平面 146。

视觉系统 140 对准要成像的任意物 150。此处的物 150 是表面在物坐标 (X' 、 Y' 、 Z') 的 X' - Y' 平面内的基底。视觉系统 140 在基底 150 之上，并且物坐标的原点和透镜 120 的单视点 C 由矢量 R^c 连接。矢量 R^c 与光轴 130 共直线，并且

矢量 R^c 的向量长度是原点和视点 C 之间的距离。视觉系统 140 在空间中移动，并且其坐标 (X、Y、Z) 相对于物坐标 (X'、Y'、Z') 旋转。存在许多对准物坐标和视觉系统坐标的约定。例如，在视觉系统坐标 (X、Y、Z) 和物坐标之间的旋转可以通过三个欧拉角 (φ, θ, ψ) 连续旋转来表达。

在操作过程中，视觉系统 140 收集光 36，诸如来自于基底 150 上点 P 的光 36。光 36 在光束 152 中传播并以入射角 θ_i 进入透镜 120。透镜 120 将点 P 成像为像平面 146 中的成像阵列 142 上成像点 P^I 。使用成像阵列轴 X^I 和 Y^I 可以较为方便地描述像平面 146，并且由矢量 R^P 来描述像平面 146 中的成像点 P^I 的位置。由于其单视角 C，透镜 120 就产生成像点 P^I 的全景投影。这样，透镜 120 就能在像平面 146 内生成物 150 的全景像。

在一个修改实施例中，视觉系统 140 可以使用透镜 120 以将光 36' 投影到基底 150 上的投影点 P_p 上，并同时收集来自点 P 的光 36。在该实施例中，在阵列 142 上点 P^s 处的像素 154 产生光 36'。由矢量 R^s 来描述像平面 146 中点 P^s 的位置。光 36' 的光束 156 透过透镜 120 以发射角 σ 投影在基底 150 的点 P_p 上。在该实施例中采用的具有感光和发光像素的混合阵列在本领域中是公知的。当然，如果无需成像基底 150，则诸如图 7 所示的显示单元可以用来投影光 36'。

图 9 示出了采用具有波长相关半透明椭球体成形表面 126" 的透镜 120 将光 36" 投射至像 162 的视觉系统 160。在某些点上，物 162 通过产生反向散射光 36" 进行响应，而系统 160 同时使用透镜 120 来收集反向散射光 36"。

系统 160 在表面 126" 之前具有显示单元 164，例如显示屏或检测器阵列。单元 164 的中心在光轴 130 上。此外，系统 160 具有带有光源 168 用于产生光 36' 的扫描装置 166。装置 166 具有用于偏转或操纵光 36' 的扫描镜 170。镜 170 相对于镜平面 M_p 倾斜扫描角 γ 。用于控制扫描角 γ 的驱动器在本领域内公知。

装置 166 具有光学中继 172，用于光 36' 的成形并使其沿着光轴 130 通过孔径 128 被导入透镜 120。中继 172 是将扫描角 γ 转换射入透镜 120 的相应允许进入角 α 的一类装置。例如中继 172 是 4-f 系统，它使用在轴 130 上具有相同或不同焦距的两个透镜使得镜 170 的中心与中继 172 的一个焦点重合而表面 126" 的第二焦点 F_2' 与 4-f 系统的另一焦点重合。中继 172 同时具有分束器 176，用于偏转任何从透镜 120 返回到扫描装置 166 的光。

在操作中，系统 160 通过调节镜 170 的扫描角 γ 来引导光 36'。扫描角 γ 的变化可以改变光 36' 出射透镜 120 的发射角 σ 。在该情形中，扫描角 γ 变化使得光 36' 首先以角度 σ_1 随后以角度 σ_2 发射。

选择半透明表面 126'' 的通过波长使得光 36' 的小部分 174（例如百分数）被透射并投影到显示单元 164 上。更具体地，当光 36' 以角度 σ_1 发射时，就把部分 174 透射至点 P_2' 。随后就把以角度 σ_2 发射的部分 174 透射至点 P_1' 。光 36' 的部分 174 可用于参考、反馈、跟踪或者其它辅助功能。

物 162 以角度 σ_2 产生沿着光 36' 路径返回透镜 120 的反向散射光 36''。光 36'' 以入射角 $\theta_i = \sigma_2$ 通过表面 122 进入透镜 120。光 36'' 的小部分经由表面 126'' 离开透镜 120。光 36'' 的剩余部分由表面 126'' 反射并由分束器 174 分束。当然，如果由单元 164 所显示的光 36'' 部分足以用于监视反向散射光 36''，则可在随后放弃光 36'' 的剩余部分。在这些情形中，可以移除分束器 174。

图 10 示出了单视点透镜 180 的另一实施例。透镜 180 具有面对椭球反射表面 184 的球形反射表面 182，而表面 184 又面对平折射成形表面 186。表面 184 的第一焦点 F_1 和表面 182 的中心 C 在透镜 180 的单视点上重合。表面 184 的第二焦点 F_2 在表面 186 上，并且在实现单视点的孔径 188 内。

透镜 180 由分别具有折射率 n_1 和 n_2 的两种材料 183 和 185 制成。材料 183 优选是玻璃或塑料，而材料 185 是玻璃或塑料，但是可以是填充在透镜 180 空腔处的液体或光学凝胶。在后一种情形中，由点划线表示的透镜 180 的部分 190 是由合适的材料制成的，它也可以是玻璃或塑料，形成包含材料 185 的包层。较佳地， $n_1=n_2$ 。

具有复合透镜 192 形式的光学中继的位置邻近表面 186，用于来自透镜 180 的光 36 的出耦合。在此情况下的透镜 192 可被设计用于将光 36 投影到像平面 194 上。相反地，透镜 192 可用于由像平面 194 射入透镜 180 的光 36' 的入耦合。

另外，可以借助由虚线指示并定义内腔 198 的壳层 196 来建立透镜 180。可以使用例如光学凝胶或其他光学材料来填充腔 198。实际上，包括部分 190 的整个透镜 180 可以具有空洞或壳层形式并填充诸如光学凝胶或液体的光学材料。

图 11 是类似于图 2 所示透镜 30 并装配有光学中继 210 的透镜 200 的横截

面侧视图。透镜 200 具有球形折射表面 202、面对椭球体反射表面 204 和椭球体折射成形表面 206。表面 204 的第一焦点 F_1 与表面 202 的中心 C 在单视点处重合。焦点 F_1' 和 F_2 也重合。所有的焦点都在光轴 208 上。

透镜 200 与透镜 30 的不同之处在于其体内没有固定孔径，而是代替地在透镜 214 和 216 之间的光学中继 210 中提供可调孔径 212。透镜 214 和 216 的焦距分别为 f_1 和 f_2 。中继 210 具有与透镜 214 的距离等于 f_1 的第一像平面 218。第二像平面 220 与透镜 216 的距离则等于 f_2 。本领域普通技术人员将理解中继 210 是一类 4-f 中继。

操作期间可以调节孔径 212 以调整透镜 200 的 F-数并在较宽的照明条件范围内操作。应该认识到获取低 F-数而打开孔 212 会导致透镜 200 单视点性质的逐渐劣化。

根据本发明的单视点反折射透镜允许无数的其他实施例。例如，它无需一定是立体透镜，而也可以是例如模制的空心制品。在透镜的特定区域是由制造方法造成的空腔时，可以使用其折射率与透镜立体部分匹配的光学液体或凝胶对其进行填充。在又一个实施例中，椭球体反射表面和/或成形表面在透镜内是反凹的，而非具有外部轮廓。对于给定的所有实施例，本发明的范围仍由所附权利要求以及等效物来判断。

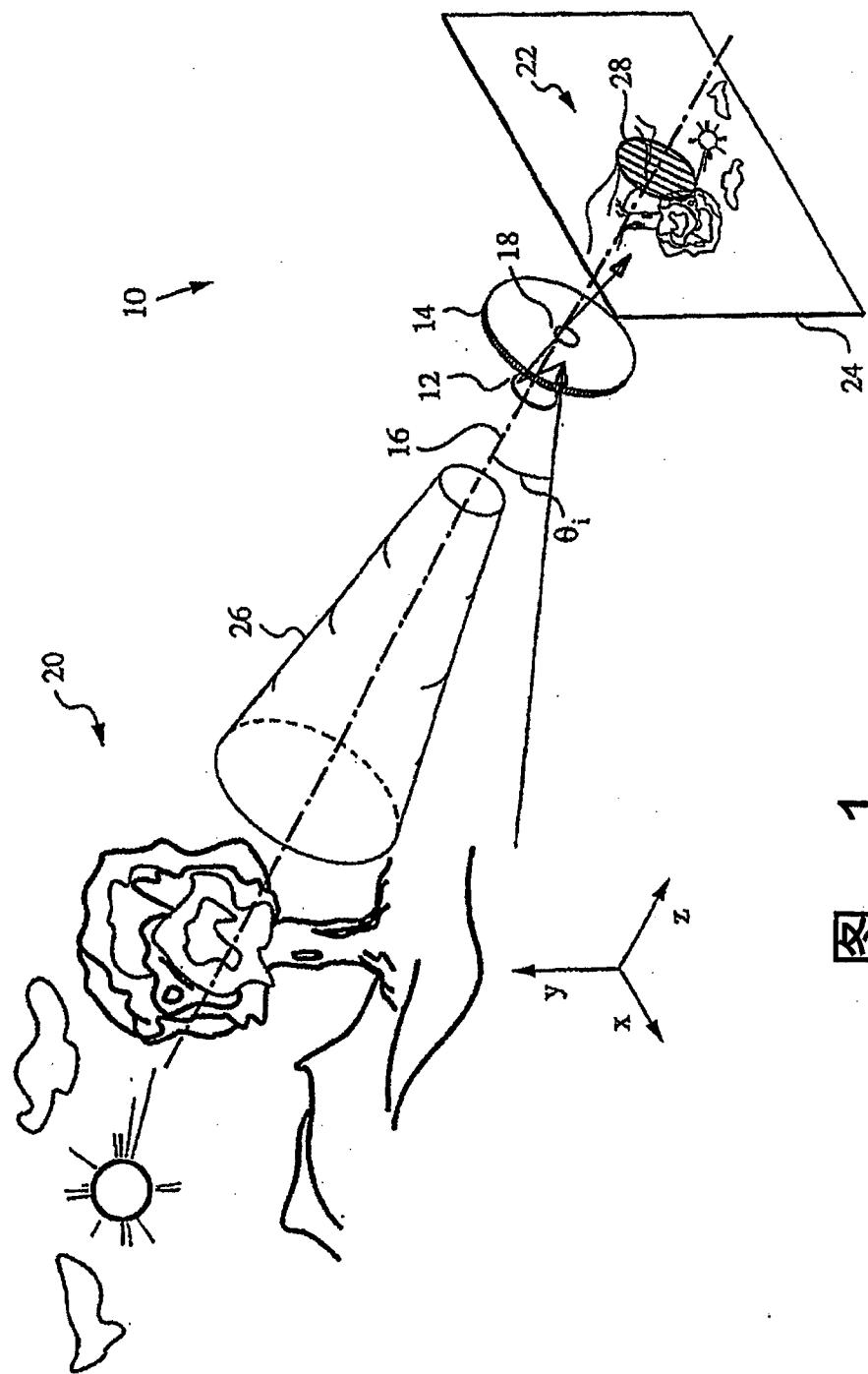


图 1
现有技术

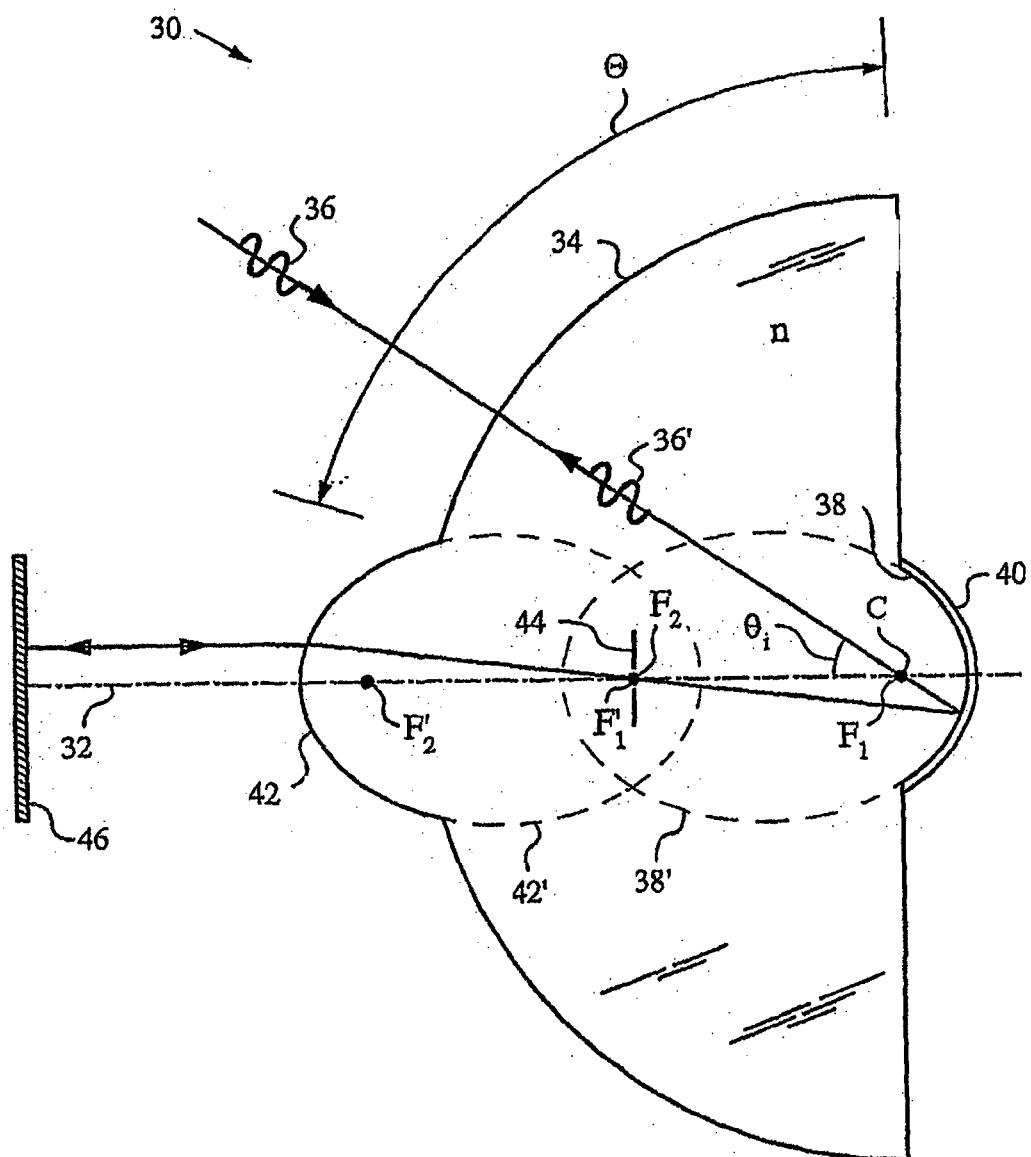


图 2

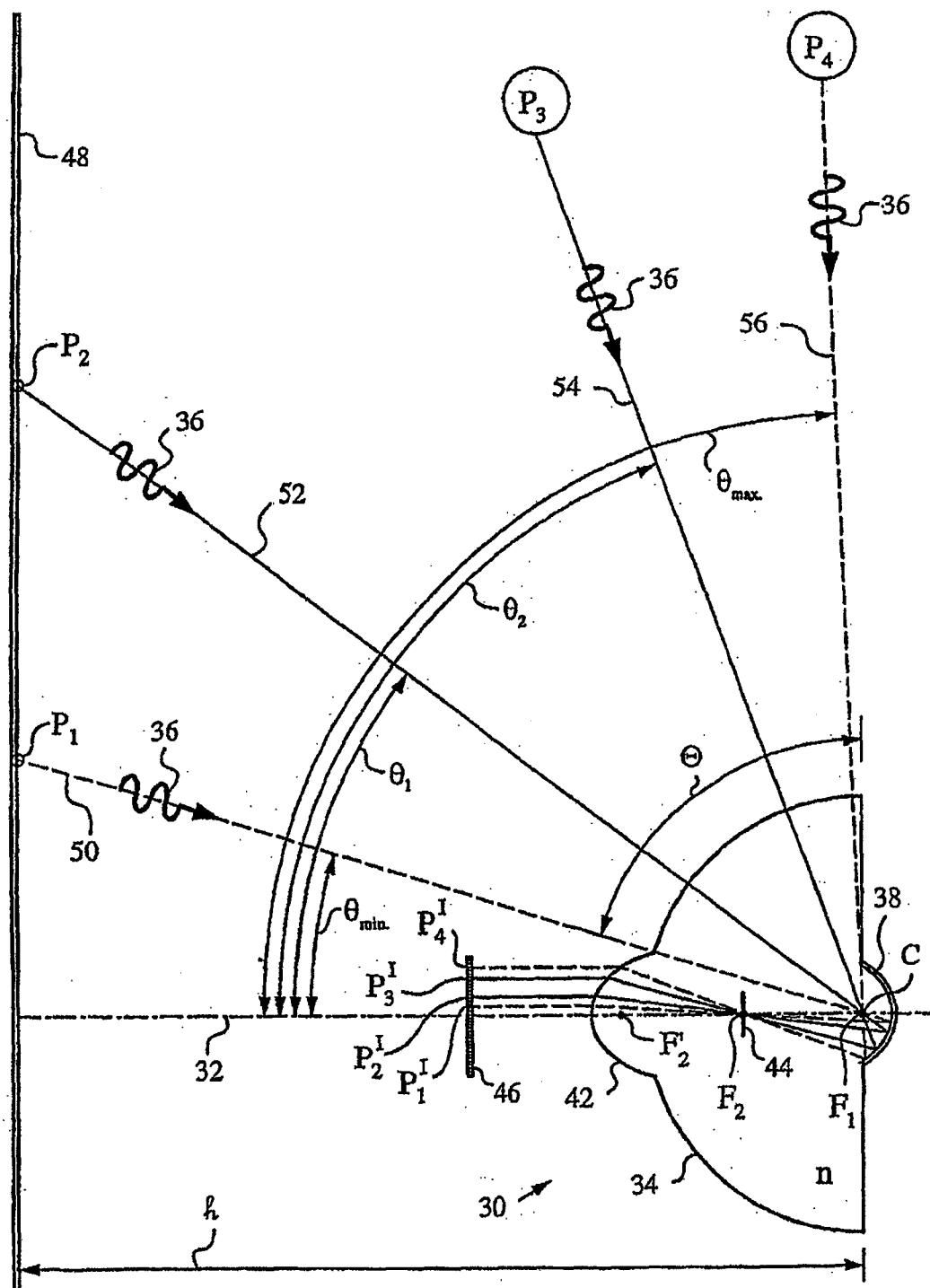


图 3

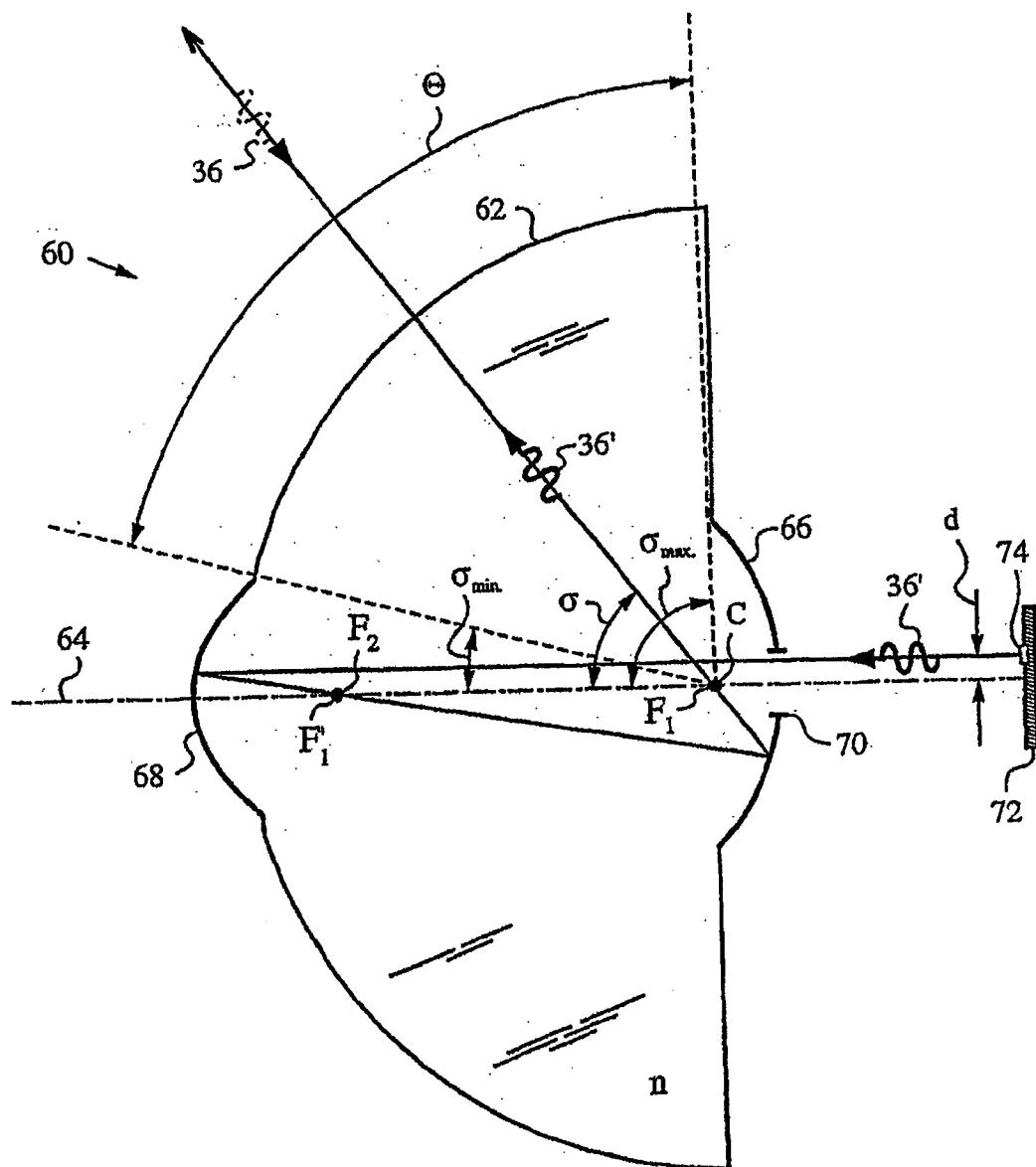


图 4

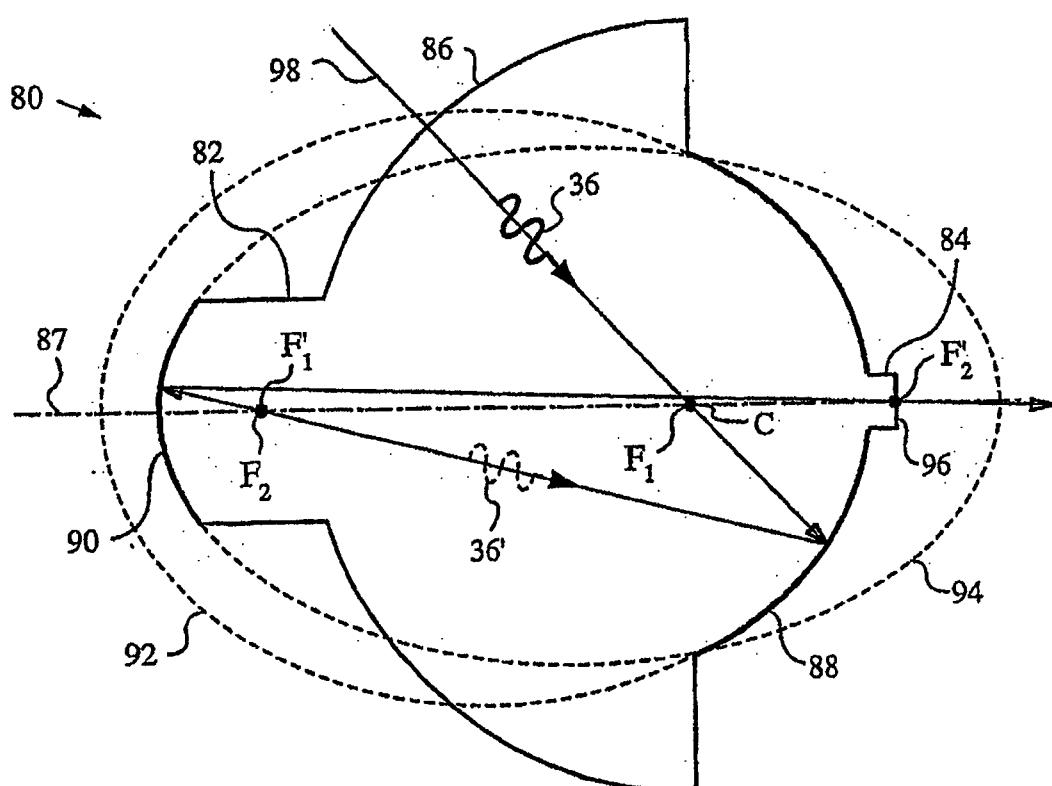


图 5

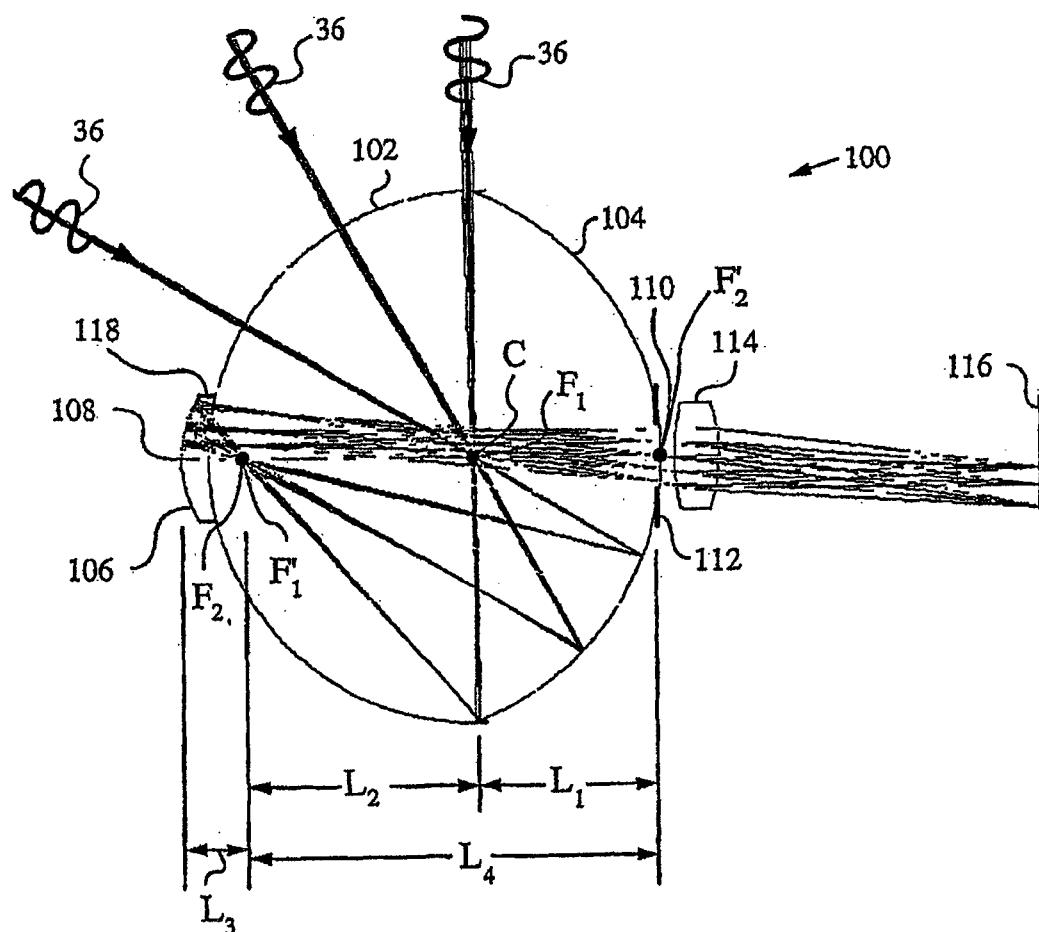


图 6

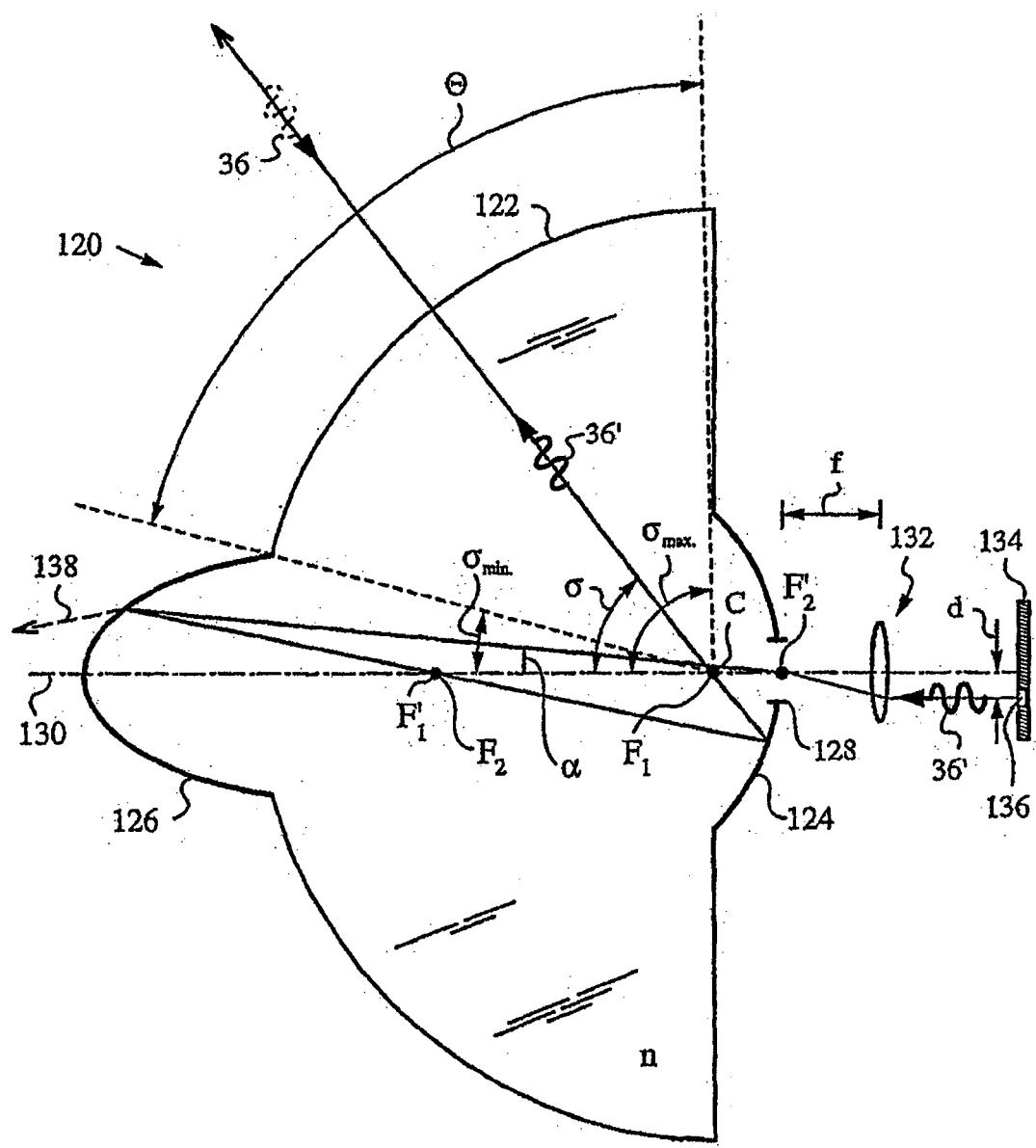


图 7

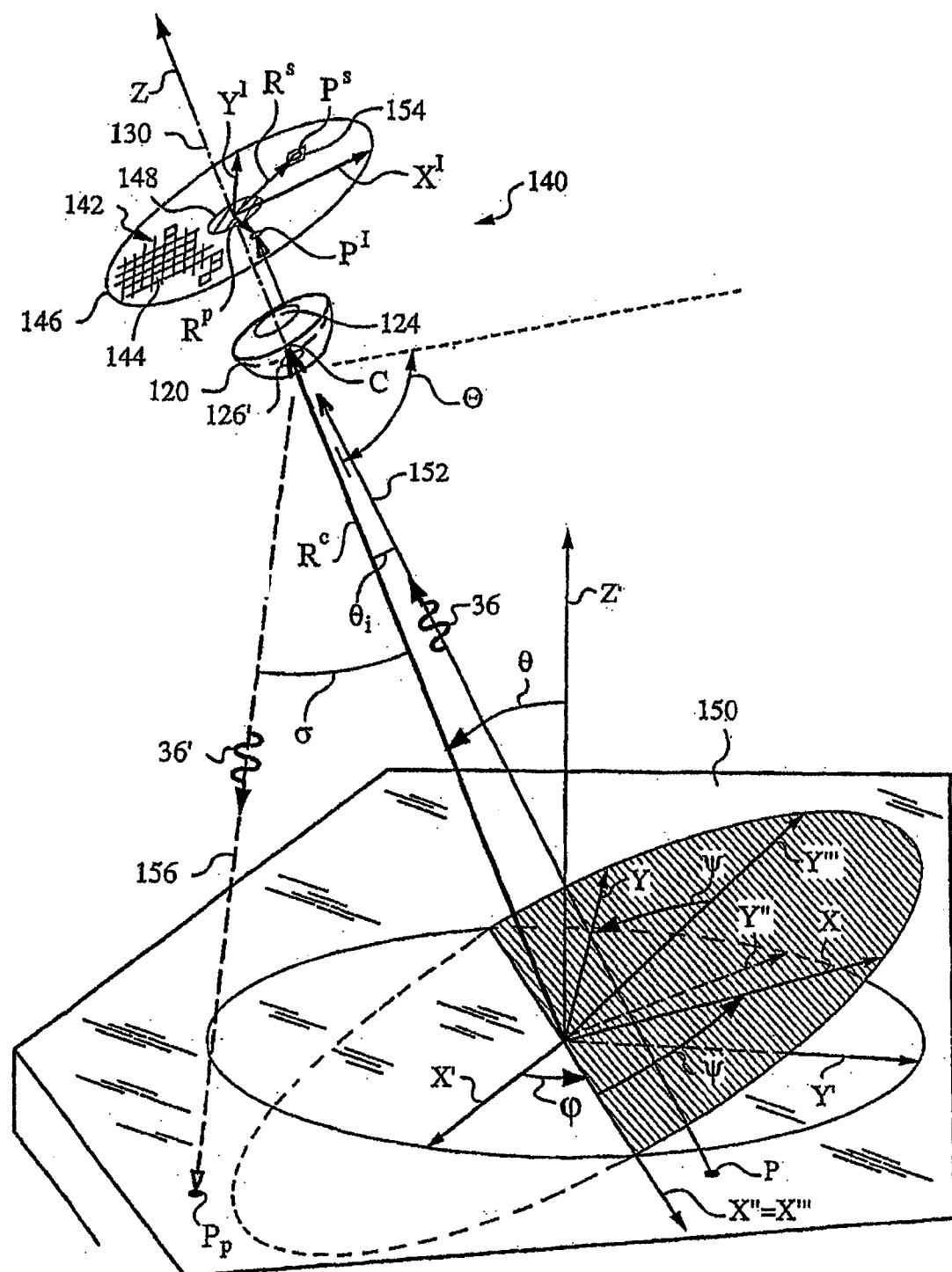


图 8

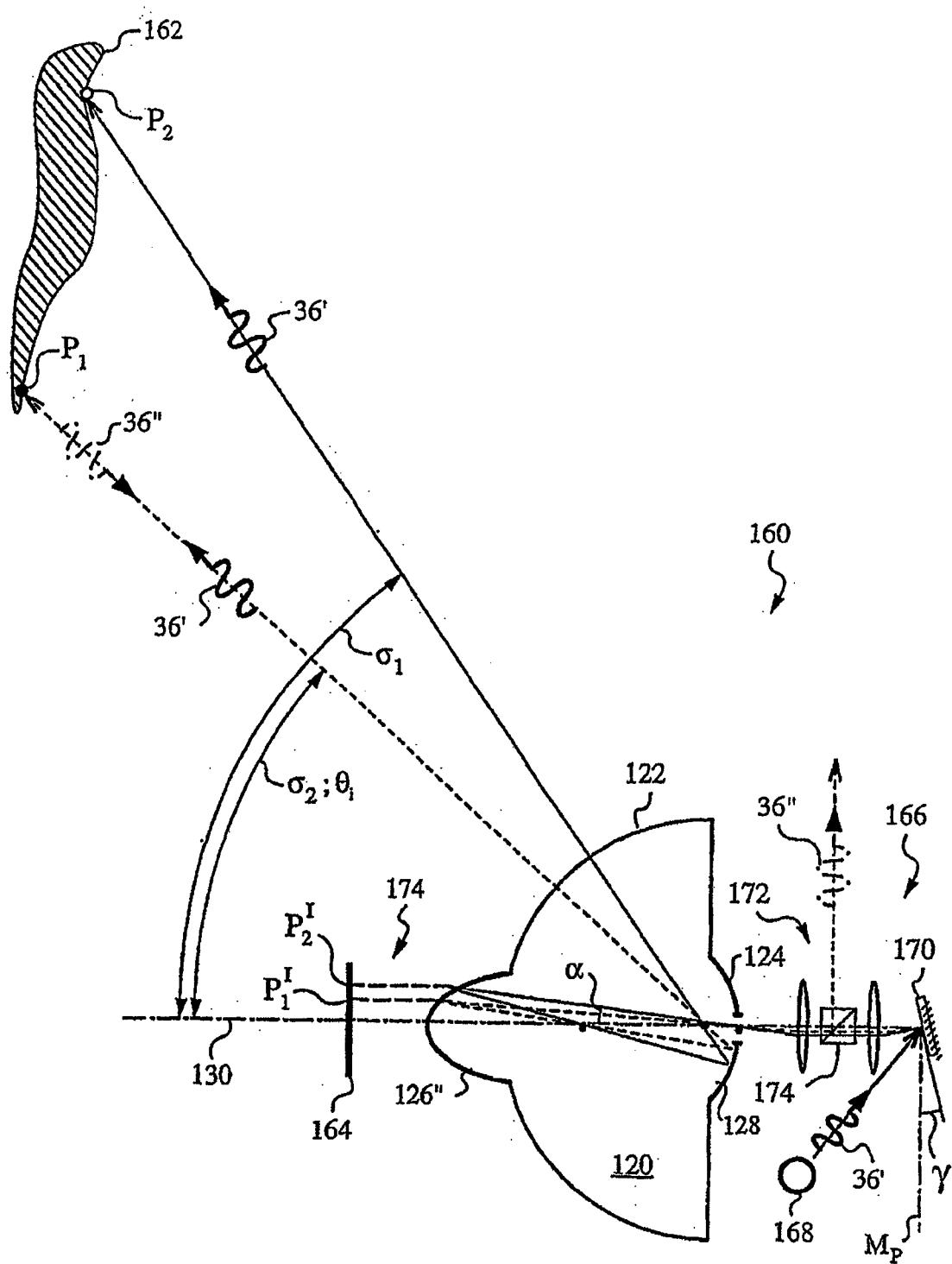


图 9

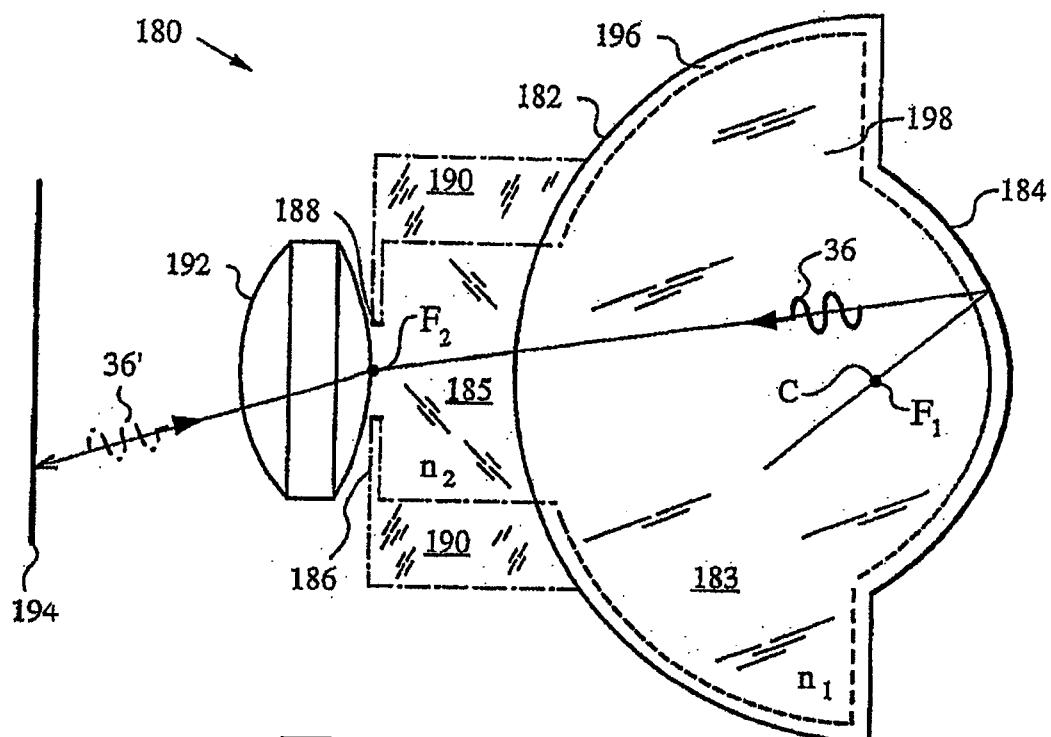


图 10

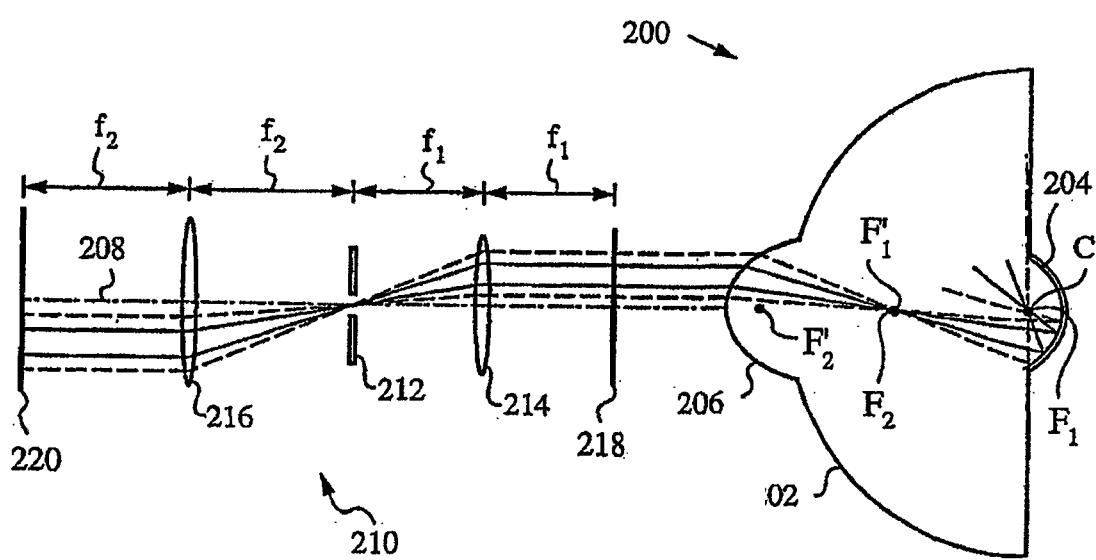


图 11