

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

G01B 11/02 G01B 9/02

G01J 9/04

[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 97109906.5

[45] 授权公告日 2002 年 10 月 2 日

[11] 授权公告号 CN 1091874C

[22] 申请日 1997.2.28 [21] 申请号 97109906.5

[30] 优先权

[32] 1996.2.29 [33] US [31] 610091

[73] 专利权人 波音公司

地址 美国西雅图

[72] 发明人 约翰·A·贝尔

托马斯·S·布雷登巴赫

巴巴拉·A·凯普伦

戴维·A·利普 查尔斯·R·庞德

审查员 钱红缨

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

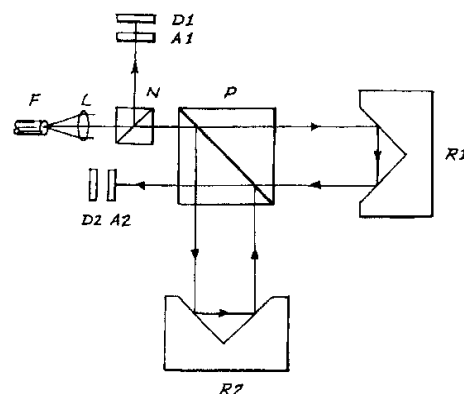
代理人 李晓舒

权利要求书 2 页 说明书 10 页 附图页数 6 页

[54] 发明名称 光纤耦合干涉式位移传感器

[57] 摘要

一种光纤耦合传感头,包括:具有双输出的外差式干涉仪,双输出对位移产生相反的反应。双频激光通过一维持偏振光纤提供到传感头。每种频率分量分别采用两种偏振模式中的一种。利用推挽式对称性来消除光纤相位变化。不需要利用波片来进行偏振变换。一个激光器可以结合很多传感头使用。



权 利 要 求 书

1. 一种测量位移的装置, 包括:

一种具有两种波长和两种正交偏振的相干光的光源;

5 外差式干涉仪, 包括一非偏振型分束器、一偏振型分束器以及第一和第二后向反射器, 所述非偏振型分束器接收来自所述光源的光束, 并输出分别包含有两种波长的光的两个光束, 所述输出的两个光束分别直接地入射到第一、第二后向反射器, 经所述第一、第二后向反射器反射后, 经所述偏振型分束器, 成为第一输出光束和第二输出光束;

10 接收来自所述相干光光源的光束并将所述光束引向所述干涉仪的装置;

第一和第二线性检偏器, 分别接收所述第一和第二输出光束, 并透射入射到所述检偏器的每个所述输出光束中两个正交偏振光中的一部分; 以及

15 第一和第二光探测器, 分别检测从所述第一和第二检偏器透射的光。

2. 如权利要求 1 所述的装置, 其中, 所述外差式干涉仪还包含第二偏振型分束器以及第一和第二平面镜表面, 所述第二偏振型分束器接收来自所述光源的光束, 并输出两束分别含有单一波长的光的光束, 这两束光分别入射到所述第一和第二平面镜表面, 经反射后, 入射到所述的非偏振型
20 分束器。

3. 如权利要求 1 或 2 所述的装置, 其中, 接收来自所述相干光光源的光束并将所述光束引向所述干涉仪的装置包括维持偏振光纤。

4. 如权利要求 3 所述的装置, 其中接收来自所述相干光光源的光束并将所述光束引向所述干涉仪的装置包括一准直透镜, 接收来自所述光纤的光, 并使由所述光纤引出的光与所述干涉仪的输入通道准直。
25

5. 如权利要求 1 或 2 所述的装置, 其中, 所述第一和第二检偏器是偏振滤波器, 它们各自的偏振轴的取向基本上与所述输出光束中的光的偏振方向相互交叉。

6. 如权利要求 1 所述的装置, 其中所述的干涉仪包含由透光材料构成的第一三角形棱镜, 该棱镜沿一个表面连接由透光材料构成的第二三角形棱镜, 在所述第一棱镜的所述一个表面上形成所述偏振型分束器和所述非
30

偏振型分束器的光涂敷层。

7. 如权利要求 6 所述的装置，其中所述的第一和第二相连的棱镜构成一沿一个交叉线切开的立方体光学元件。

5 8. 如权利要求 2 所述的装置，其中所述的干涉仪包含一由透光材料构成的第一平板，该平板沿一侧面连接到由透光材料构成的第二平板，在所述第一平板的所述一个侧面上形成所述第一和所述第二偏振型分束器和所述非偏振型分束器的光学涂敷层，并且在所述第一和所述第二平板的相对侧面上形成各自的所述第一和第二平面镜涂敷层。

10 9. 如权利要求 6 或 8 所述的装置，其中所述两连接的平板或棱镜的外表面分别涂敷有防反射涂敷层。

10. 如权利要求 1 所述的装置，还包含第一和第二光纤，它们分别把光从所述第一和第二检偏器传输到所述第一和第二光探测器。

说明书

光纤耦合干涉式
位移传感器

5

本发明一般地说涉及一种用于测量位移(物体位置的变化)的仪器,该仪器包括一些可以测量力、压力或其它物理量的传感器,这些物理量可以通过其产生的位移利用转换器得到,更具体地说,涉及用于以高分辨率和高精度测量位移的光干涉仪。

- 10 传统的用于精确测量位移的仪器是外差式光干涉仪。这种干涉仪利用两种频率的相干光。因此,需要两个激光器,或一个产生两种频率的激光器,或一单一频率的激光器加一或二个光频移器。由于这些元件的尺寸和热负载问题,该双频率光源通常单独安置,与干涉仪的位移传感光学元件(下文称为传感头)分开。通常光源利用通过自由空间的准直光束向一个或几个
- 15 传感头提供光。因此,每个传感头必须与作为光源的光束相对准,在使用过程中传感头必须沿着光路移动。

现已知一些利用其它类型的干涉仪的光纤耦合位移传感器,不过这些传感器比外差式干涉仪的精度低。

如下的专利代表了一些用于测量距离或位移的光纤耦合干涉仪:

- 20 授予 Cole 等人的(5094534)和 Ulrich(4596466)的美国专利介绍了低相干性的干涉仪。用于测量位移的传统(高相干性)干涉测量法的精确的优点来源于采用精确波长的光作为极为均匀和精细的衡量标准。而这些低相干性系统只是利用光将远方位移进行本地重现。对于指定的时间,可以非常精确地实现重现,正像这些专利参考文献所强调的那样。但是本地位移的测量
- 25 则远低于通常的干涉测量法所能达到的速度/范围/精度的级别。这些系统不受光纤长度变化的影响,但是仅能使用低相干性光。

如下的干涉仪都能利用高相干性光:

- 授予 Tucker 等人的 5106192 号美国专利是一种精度级别低于根据本发明的系统的几个干涉仪构成的系统,范围针对与平面镜或后向反射器对置
- 30 的粗糙的光学表面。(按粗糙表面的干涉测量法,由相同物体上的相同点用两种或更多种光的波长测量干涉相位。并按照相应于激光波长的相位变化

而不是按相应于一个波长的绝对相位来计算近似的距离。由于在目标表面上被照亮的点可能包含半个波长量级的高度变化,本身读出的任一相位是没有什么意义的。距离精度通常比传统干涉测量法小 100 到 1000 倍,对于根据本发明系统大约为平均波长与所采用的波长范围之比)。该系统将光纤
5 用在关键的光路上,但并没有讨论光纤长度的变化。

利用光的外差法能够进行多路转换:利用相同的光纤连接装置,几个不同波长的干涉仪同时工作,这种多路转换是根据外差的频率区分而不是根据激光波长区分。因此,这里采用几个激光器来测量一个物体,而按照本发明的系统几个物体可以利用一个激光器测量。

10 如下的干涉仪涉及光滑的反射面而不是粗糙的表面:

在 Optics Letter(光学通信)第 17 卷第 1382-1384 页上(1992 年 10 月 1 日)发表了 U. Minoni 的题为“Fiber-stress-insensitive interferometric setup for displacement measurements”(“用于位移测量的对光纤应力不敏感的干涉计
15 量装置”)的论文。U. Minoni 介绍了一种单频率的干涉仪,测量两个相差四分之一周期的相位。(一条光纤不仅用于光源而且还用于二个光探测器,所有三个通道都不是关键的。)从原理上讲,这样的双相位单频率干涉仪通过处理复数基带信号而不是相当的实数带通信号,可以得到与双频干涉仪同样的位移信息。实际上,处理复数基带信号通常更为困难并且会产生更大的噪声和漂移(见:在 Measurement Science and Technology(测量科学和技
20 术)1993 年第 4 卷第 907-926 页上 N. Bobroff 所著“Recent advances in displacement measuring interferometry”(“位移测量干涉仪的近期发展”)),这是由于这种情况需要对电信号的增益和偏差进行校准和稳定。利用双频率的干涉仪的基带信号易于维持最高的精度。

其余的干涉仪都是双频率型的(光源和信号处理的细节不同,这些传统
25 的技术是可互换的)。此外,它们都是按相同的方式采用光纤耦合的:利用一维持偏振光纤(one polarization-preserving fiber)的两种偏振模式。因此,光纤长度变化对它们都会产生影响,并且它们全都利用不同形式的双干涉仪在最终的输出端来消除这类影响。虽然传感器形式不同,但是,它们具有相同的固有的光效率(忽略在各元件中的过高损耗)并且在多个传感器之
30 间以相同程度共享光源,虽然这种可能性没有经常提到。

在 Review of Scientific Instruments(科学仪器综述)第 61 卷第 753-5 页

(1990. 2)由 F. Farahi 和 D. A. Jackson 著有“A fiber optic interferometric system for surface profiling”(“用于表面加工的光纤干涉测量系统”)。介绍了一种准外差技术, 其中信号处理弥补了光源中的某些经济方面的不足。这种光源(当伴随适当的信号处理时)仍是可以与其它光源互换的。这种传感器和在授予 Chaney 的 5274436 号美国专利中所示的传感器相似。在 5274436 号美国专利中仅利用一个而不是两个干涉仪来检测目标的移动。这种“单端式”结构的灵敏度为本发明的“推挽式”结构的一半。此外, 干涉仪的关键部分比本发明的系统具有较多的光学元件和较少的对称性(见下文介绍的本发明中的图 6 和图 7)。这样就很难使其达到指定的精度。相位误差的一个来源是反射器的横向运动与波前偏差的综合。(即使是良好的光学装置也可能有 0.1 波长偏差, 以及包括在本发明的系统中的某些装置也含有明显的横向移动。)本发明的系统由于其具有推挽式的对称性, 所以最有效地消除了这种影响。

应当指出, 由反射器返回的光束经过偏振处理(根据利用平面式或立体角式反射器进行的圆形偏振反变换), 以便使其与输出的各光束分离, 返回的光束与输出光在空间上是重叠的。由于使用了平面镜或共轴反射器而造成上述重叠。在本发明的系统中, 返回的各光束已经与输出的光束在空间上是分开的, 这是由于该立体角式的反射器是被偏离中心照射的。这种空间上的分开使得本发明的系统(下文介绍)能利用偏振坐标来产生对称的推挽作用。这样还使得立体角式的连接体能在保持光路之外保持最高的精度(见上文中的 N. Bobroff)。

另一个代表现有技术的参考文献是授予 Kondo 的 4958929 号美国专利, 其介绍的一种推挽式结构比下文介绍的本发明的系统在构成上更复杂并且对称性较小。Kondo 的图 6 中的实施例适合于公用光源。对比起来本系统没有采用在该文中所述的 90° 的偏振旋转。本系统利用了两个附加的元件, 即在光探测器前交叉配置的两个检偏器(在本申请附图中的图 6-7 所示 A1-2)。这些附加的元件处在干涉仪的非关键部位上, 另外也不贵。它们还提供了调节强度平衡的装置, 这一点对于消除某些误差影响, 例如由于偏振的混合作用产生的误差影响, 可能是有用的(参见上文中的 N. Bobroff)。

在授予 Kondo 的 4958929 号美国专利的系统中, 在两个反射器的仅其

中之一处，两个反向偏振的光束分量换位(利用圆形偏振反变换或其它非专用的装置)。在一些地方会需要光束交换，不过放在这里，在关键光路中需要至少一个附加的光学元件，因而破坏了对称性。所建议的方法是向一个反射器发出圆形偏振光，向另一个发出直线偏振光，但当在反射器和波片中存在实际的缺陷时会影响精度。利用波片还使得偏振状态与温度相关(见上文的 Bobroff)。在本系统中(见本申请的附图中的图 6-7)，类似的光束交换(较远的下游侧，在分束器处)不需要波片。干涉仪的关键部位简单、对称，这是本文上面所参照的现有技术所无法比的，因此，对于元件缺陷的敏感性大为降低，并能够产生很好的结果。

10 本发明将使用光纤的光学装置的某些优点(热隔离、不受妨碍地接近小的或远的空间位置，在可动结合点或柔性结构之间的连接不会有损准直)补充到外差式干涉测量法(广泛用于位移或距离的精确测量)中，同时保留了外差法精度高的优点。使用光纤的光学元件还为几个干涉仪公用一个光源提供了更大的自由度，另一个优点是因采用了干涉仪的对称形式从而消除了
15 在光纤中的环境影响，还使系统对于某些光源的不确定性不敏感。最后，在本系统中通过对位移的远距离干涉计量能够对可变换为很小位移量的力、压力或其它量进行遥测。

为了清楚地了解光纤类光学元件的作用，考虑外差式干涉仪由如下部分构成：(1)必需的双频率相干光源，(2)确定测量轴线的传感头，(3)光探测器系统。显然，利用光纤连接将(2)和(3)分开，使得光机部分和光电部分能
20 工作在不同的热噪声和电噪声的环境中。所讨论的所有系统都可根据这样的功用利用光纤，并且具有这些特征的装置都是可以从市场上购买得到的。然而，本发明是外差式干涉仪的一种特殊形式，其利用光纤连接由(1)向(2)提供光，由远方的激光器向一个或多个传感头提供能源，并使得各传
25 感器在位置上有更大的灵活性。下面仅就光纤类光学元件后者的使用进行进一步讨论。

在光纤耦合干涉仪中某些基本设计的依据是：(1)如果两束光相干，且如果两束光横向移动，光路的某些部分对于长度不是决定性的，但是如仅其中一束光束横移则是决定性的；(2)光纤在有效长度内产生的变化(例如随
30 温度、弯曲应力)，在关键光路中是不可忽略的。在外差干涉仪中，还应考虑的是：(3)各传感器需要两种频率的光，(4)在每个传感头内部，要将两种

频率区分开来或从一种频率中提取出另一种频率是不便的；(5)对于两种频率采用各自的光源光路使得两条光路都是关键的。在这种状况下，必须考虑维持偏振光纤，其可以按照各自不同偏振模式独立地输送两种光波。再者，这两种模式之间的光程差可以比容差变化得更多，该差别可小于 0.01 波长(典型的波长处在或近于可见光范围，数量级为 1 微米)。

相应地，本发明提供了一种测量位移的装置，包括：一种具有两种波长和两种正交偏振的相干光的光源；外差式干涉仪，包括一非偏振型分束器、一偏振型分束器以及第一和第二后向反射器，所述非偏振型分束器接收来自所述光源的光束，并输出分别包含有两种波长的光的两个光束，所述输出的两个光束分别直接地入射到第一、第二后向反射器，经所述第一、第二后向反射器反射后，经所述偏振型分束器，成为第一输出光束和第二输出光束；接收来自所述相干光光源的光束并将所述光束引向所述干涉仪的装置；第一和第二线性检偏器，分别接收所述第一和第二输出光束，并透射入射到所述检偏器的每个所述输出光束中两个正交偏振光中的一部分；以及第一和第二光探测器，分别检测从所述第一和第二检偏器透射的光。

因此，光纤耦合的外差干涉测量法需要新颖结构的干涉仪，根据本发明要考虑光纤长度变化，下文将详细讨论。

本发明是一种利用光学外差式干涉测量法的精确位移测量装置，其与上述现有的外差式干涉仪的区别在于：

(1)经过一条光纤而不是常用的使光束明露的光学元件将所需的双频率激光由光源引向位移传感头。

(2)干涉仪产生具有互补对称性的双输出。对于位移的响应以差模模式产生，并可与不希望产生的影响区分开来，这些影响包括在光源光纤中以共模模式出现的状态变化所产生的影响。

本发明的其它特征和优点是：

(1)传感头不需要与光源对准，仅将光纤与其连接。因此，传感头可以置于进行任何运动的物体上，或在空间或出入口非常有限的位置处。

(2)供光光路完全封闭，与激光安全相关的问题降低到最小程度。

(3)一个光源可很方便地与很多传感头结合使用。

(4)测量灵敏度提高，这是由于对于指定的激光波长，被检测的位移产

生两倍于传统干涉仪的相位变化。

通过参阅仅在于以举例方式描述本发明的几个实施例的附图，可以明白本发明的上述和其它目的、特征和优点，其中：

5 图 1 是利用光纤将下文要介绍的几个传感头连接到双频率激光源的方框图；

图 2 是为了说明本发明的原理采用传统光学元件的传感头实施例的光学示意图；

图 3 是本发明的为了更好地准直和稳定所采用的定制的光学组件的传感头的优选结构的光学示意图。

10 图 4 是具有较低灵敏度和对称性但仍然保持光纤耦合优异特征的结构较为简单的传感头光学示意图；

图 5 是图 2 所示传感头简化结构的光学示意图，并与图 2 所示结构具有相同的特性和优点，但使用了较少元件的。

15 图 6 是采用定制的光学组件的传感头优选形式的光学示意图，其为图 3 所示传感头的简化形式，同时比图 5 中所示的传感头有更好的准直度和稳定性。

图 7 是图 6 所示系统的光学示意图，然而这种结构用立方体分束器的半部元件取代了光学平板。

20 图 1 表示一种传统的光源装置，其利用一个稳定的单频率激光器和两个分别接收大约 $1/2$ 的激光器输出的频移器。其中，各光纤均为维持偏振型 (PM)；标号 1, 2, ..., N 表示的供光光纤分别送到 N 个传感头上。尽管还已知其它类型，但对频移器来说声光元件是良好的选择。这些器件利用通常在 20 到 100 MHz 之间的频率 RF_1 和 RF_2 的电信号来驱动，这些信号确定了频移的幅度。设计各个元件以便能够提供向上或向下的频移。通过取得
25 在相同方向的两个频移，使通常所需的处在 0.2 到 20 MHz 的光输出频率 f_1 和 f_2 之间的差与所选择的 RF_1 和 RF_2 之间的差相同。利用 PM 光纤制备将光波分开或合并的所有光纤连接器和光耦合器。按照光输入光纤时已形成的偏振或离开光纤时所需的偏振对光纤偏振轴定向。特别是，要对两个输入到光耦合器 2 上的光纤进行定向，使得频率为 f_1 和 f_2 的光分量进入不同的
30 光纤偏振模式。耦合器 2 然后将这两个频率分量按大体均衡的方式分配到所有 N 个输出端。每个输出端按在两种偏振模式中所需的一种模式接收一

个频率分量。

图 2 表示传感器的工作情况。其中, F 表示光纤, L 表示准直透镜, P1-2 表示偏振型分束器, M1-2 表示平面镜, N 表示非偏振型分束器, R1-2 表示后向反射器, A1-2 表示线性检偏器, D1-2 表示光探测器。以下各图中相同的标号表示相同或相似元件。具有上述特性的 PM 型光通过光纤传输。在这一光纤的输出端, 光纤两偏振轴以及因此形成的出射光的两偏振轴的取向平行和垂直于页面的平面。光束由光纤散射射出直到利用透镜 L 校直成具有适当的直径。在这一透镜之后, 光束在所示光路的其余部分基本维持准直状态, 为了简化表示, 仅给出中心光线。

10 利用光的不同偏振特征, 偏振式分束器 P1 将光分为两个频率分量, 为了定义, 令 f_1 作为 S 偏振分量, 朝向平面镜 M2 反射。我们还假设, f_1 是两个频率中较大者。各平面镜将它们各自的光朝非偏振分束器 N 反射(从不同的方向), 在这里每个光束在引向后向反射器 R1 或 R2 的两个输出光路之间进行分配, 具有近于相等的功率。如所标识的那样, 后两个光束再次包含
15 两种频率和偏振分量。下面分析如果 R1 位置固定, R2 沿所示方向按速度 V 移动会发生的现象: 即由 R2 反射的每个光束分量形成与 V 成比例的频移(比例常数是激光波长倒数的 2 倍)。最后偏振分束器 P2 再次反射 f_2 光束分量(正像 P1 所实现的一样), 这是由于这些光仍然是 S 偏振光; f_1 光束分量直接通过(正像它们通过 P1 一样), 因为它们仍然是 P 偏振光。因此, 离开 P2 朝向
20 光探测器的综合光束按与输入光不同的方式成为一对。每个探测器接收一个来自 R2 的多普勒频移光束分量以及一个来自 R1 的未产生频移的光束分量。

检偏器 A1 和 A2 设在光探测器 D1 和 D2 之前。正像在外差式干涉仪 (N. M. Oldham, J.A.Kraman, P.S.Hetrick, and E.C.Teague, "Electronic
25 limitation in phase meters for heterodyne interferometry", Precision Engineering, vol. 15, no.3, 1993, PP.173-179。)中一样, 这些检偏器按交叉的方式取向, 以便传输入射光束中每个偏振分量的大约一半(使得所利用的两个交叉部分差别是很小的)。每个所发送的光束仍然具有两个频率分量(已通过不同的光路行进), 不过现在这些光束已处相同的偏振状态, 因此形成光的干涉。干
30 涉光相位是相干光束分量之间的相位差, 并按照频差随时间变化。

在光探测器 D1, 这个频差是 $(f_1 - f_2) + KV$, 而在 D2 为 $(f_1 - f_2) - KV$ 。

因此，看出一个后向反射器的假想移动是沿相反的方向移动了干涉仪的两个输出信号的频率。假如运动的后向反射器陆续地趋于静止，很明显它的位置变化也会沿相反的方向移动两个干涉光相位，正如在起始所述的一样。同样很清楚，在二光束输入传感头之前(实际上是在分束器 N 之前的任一处)影响光的频率 f_1 或 f_2 的某一相位漂移在相同方向对两个干涉光相位产生均衡的影响。因此，预计在光纤 F 中可能会产生的这些相位漂移会沿相同的方向均衡地移动两个干涉光相位，并且不影响相位差。

对于这些干涉仪的电信号的处理工作与传统的外差式干涉仪相似，只是有两个而不是一个干涉光的相位要随位移变化，并且所关注的量是其间的相位差。已公知很多适宜的电信号相位的测量方法(见上文 N. M. Oldham, J.A.Kraman 等人的论文)。

上面，用所熟悉的光学元件解释了基本原理。图 3 表示了一种改进了的传感头的结构，其中用一种定制的光学元件替换图 2 中的分束器和平面镜，以便引入光的准直部分。图中，标号 M1-2 表示平面镜涂层，所述定制元件是由两个光学用玻璃平板组成。在将两个平板组装在一起之前，在需要形成 N 和 P 分束器之处沉积光学用涂敷层。与之相似，利用反射涂敷层形成平面镜 M1 和 M2。最好是在外表面的其余部分涂敷防反射层。

已知几种双频率光源。选择图 1 所示的光源作为一种解决涉及 24 个传感器的仪器使用问题的经济的方法。可以使用两个激光器而无频移器。在这种情况下，某些对激光频率差的自动控制方式(例如，光波电子器件系列 2000 激光偏差锁定附件)是方便的，但是这种控制不必精确，这是由于只要信号处理器维持使用电信号频率，($f_1 - f_2$)的逐渐变化就不会带来不同的相位误差。还已公知各种激光系统，它们沿共同的光路发出两束分别可控频率以及正交的线性偏振光(例如，Hewlett - Packard 型号 5517A)。对于这样一种光源的光纤耦合器，仅需耦合器 2 的一个输入端，如果仅使用一个传感头，则耦合器本身可以由一单个光纤来代替。另外，对于不需要考虑供光光纤灵活性的使用场合，自由空间的光可以从传统的双频率光源向一个或多个如图 2 所示形式的传感头或者一系列的传感头传输(在这种情况下图中的光纤 F 和透镜 L 可省去)。维持推挽式的对称性。

还公知可以将光探测器远离干涉仪设置，这样能够使一个放大器靠近探测器而不会加热传感头。在这种变型方案中，图 2-4 中的 D1 和 D2 不代

表探测器本身而代表由光纤耦合到远处的探测器的聚光器。一个聚光器可以简单地是一种聚焦到探测器光纤端部的透镜，它是图中配置 F-L 的逆向布置。一个重要的差别是探测器光纤可以是多模式类型的，总体直径远大于供光光纤 F，这样就减轻了该聚光器的准直要求。在透镜之前的一个孔径光阑有助于获得良好的外差效率。

此外，还公知利用一些反射器装置可以增加位移检测干涉仪的灵敏度，这些装置向需检测的位置转送往返一次以上的光。可以采用这种灵敏度倍增器获得目前的光纤耦合传感头的优点。

如果由于光学系统不完善导致入射到图中检偏器 A1 或 A2 上的两个偏振分量的强度不均衡，这时可以通过调节检偏器的取向使之加强较弱的光束来补偿这种不均衡。

后向反射器 R1 或 R2 的位移，或者它们之间的移动差异可以检测。与一个或两个后向反射器相连的光束可以利用辅助平面镜来折返，以便使位移灵敏度的轴线重新取向。

15 图 4 表示一种可能的变型方案, 其同仅一个干涉相位对于位移是灵敏的, 但是利用如前所述的差模信号仍可以消除共模相位漂移, 这样仍可保持光纤耦合的优点。

已经发现各种光学传感头的结构能够提供与现有技术相同的特性和优点，像图 2 和 3 中的结构一样，但使用较少的元件，这些简化的结构表示在图 5-7 中的结构中。

由于前述光源部分没变化，所以对它们的介绍将不再重复。

对于图 5 中所示传感器的介绍与先前对于准直透镜 I 所介绍的相同。在这一点上, 经准直的光束包含按不同模式偏振的两个频率分量。

在图 5 中, 首先传感器按如下的方式与图 2 中所示的传感器相区别。

25 经准直的光束通过非偏振型分束器 N。在该处, S 和 P 偏振的光束分量在引向后向反射器 R1 或 R2 的两条输出光路之间接近于相等的功率进行分配。因此输出的光束仍然由如所标识的两个频率和偏振的分量组成。如上所述, f_1 是指 P 偏振分量, f_2 是指 S 偏振分量, 其中 f_1 是两个频率中较大的一个。还如前所述, 如果 R1 位置是固定的, R2 按速度 V 移动, 则由 R2 反射的每个光束分量产生与 V 成比例的频移。偏振型分束器 P 反射 f_2 光束分量,

30 因为它们是 S 偏振光; f_1 光束分量直接穿过, 因为它们是 P 偏振光。同样地,

每个光探测器接收来自 R2 的多普勒频移分量和来自 R1 的未曾频移的分量。

由此对该传感器的介绍与先前介绍的相同。把能使所形成的光束相干的检偏器 A1 和 A2 也置于光探测器 D1 和 D2 之前。此外，在 D1 的频差是 $(f_1 - f_2) + KV$ ，而在 D2 为 $(f_1 - f_2) - KV$ 。后向反射器的移动效果与前述是相同的，并且所形成的位置变化也引起两束干涉光的相位沿相反的方向移动。应再次指出，在到分束器 N 之前产生的相位漂移不会影响相位差，在电信号处理工作方面与前述没有差别。

已根据基本的光学元件解释了基本原理，图 6 表示了对该传感头的构成的一种改进方式。用一个定制的光学元件取代图 5 中所示的分束器，使得能够形成光准直。这种元件是由两个光学平板玻璃组成。在将两个平板组装在一起之前，在需要形成 N 和 P 分束器的位置沉积光学用涂敷层。图 7 表示由正方体分束器的两个半部替代光学平板玻璃的另一种结构形式。在所有的图中，通过倾斜一些元件使其稍微偏离垂直入射光线可以消除在垂直入射的情况下会遇到的由光学表面产生的不需要的反射(未表示)或者按照传统利用防反射涂敷层使之最小。

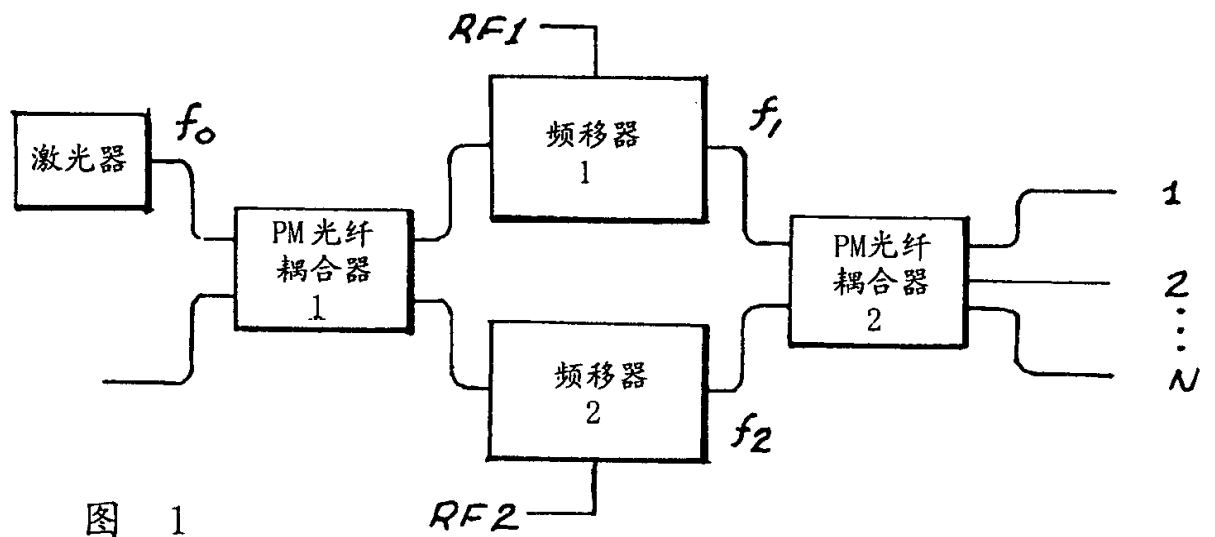


图 1

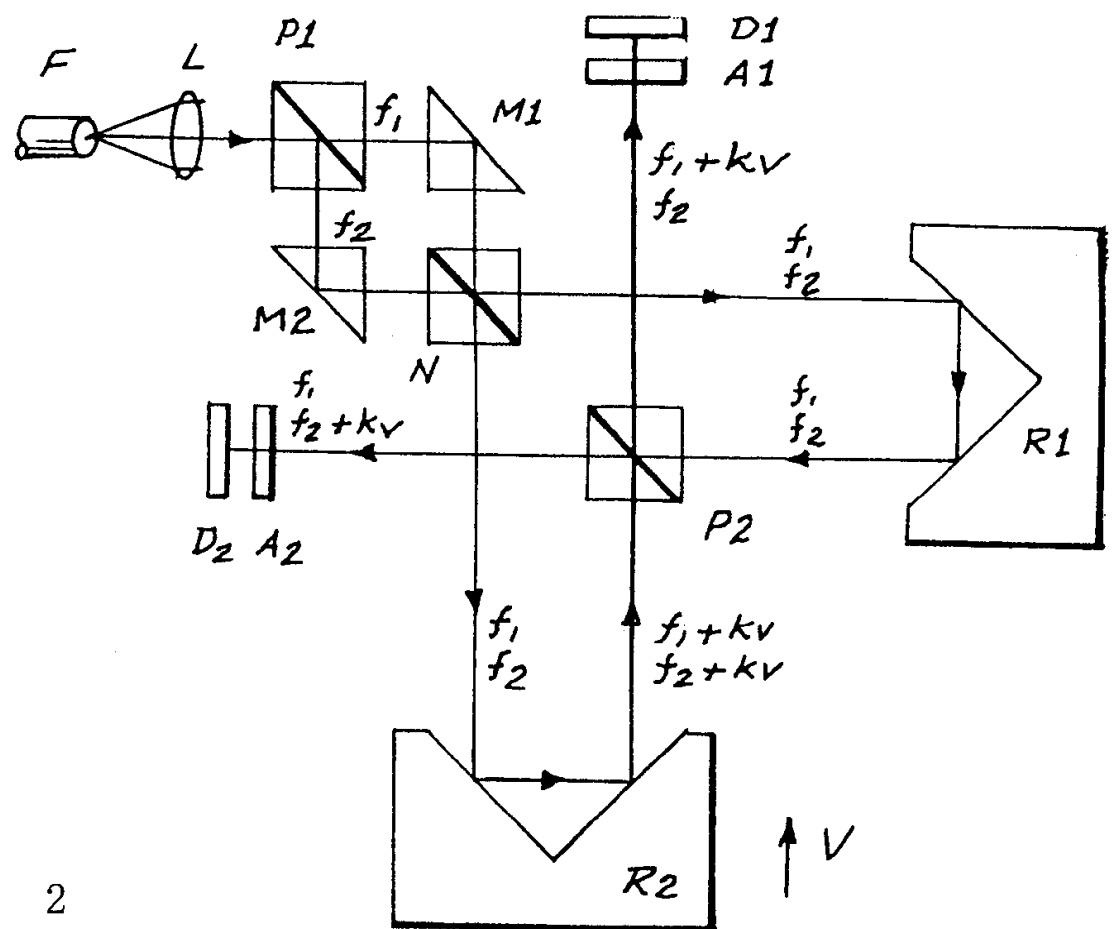
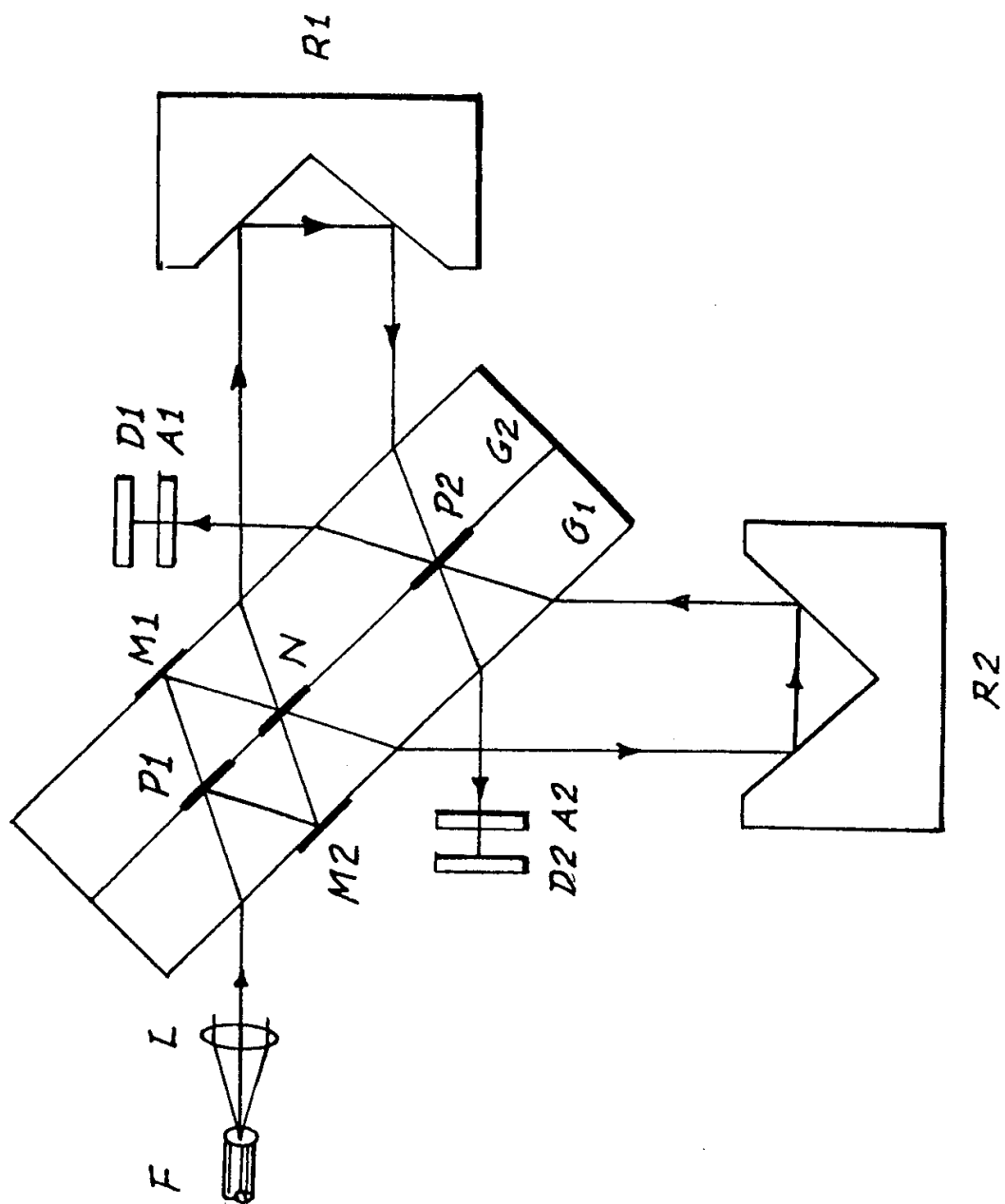


图 2

图 3



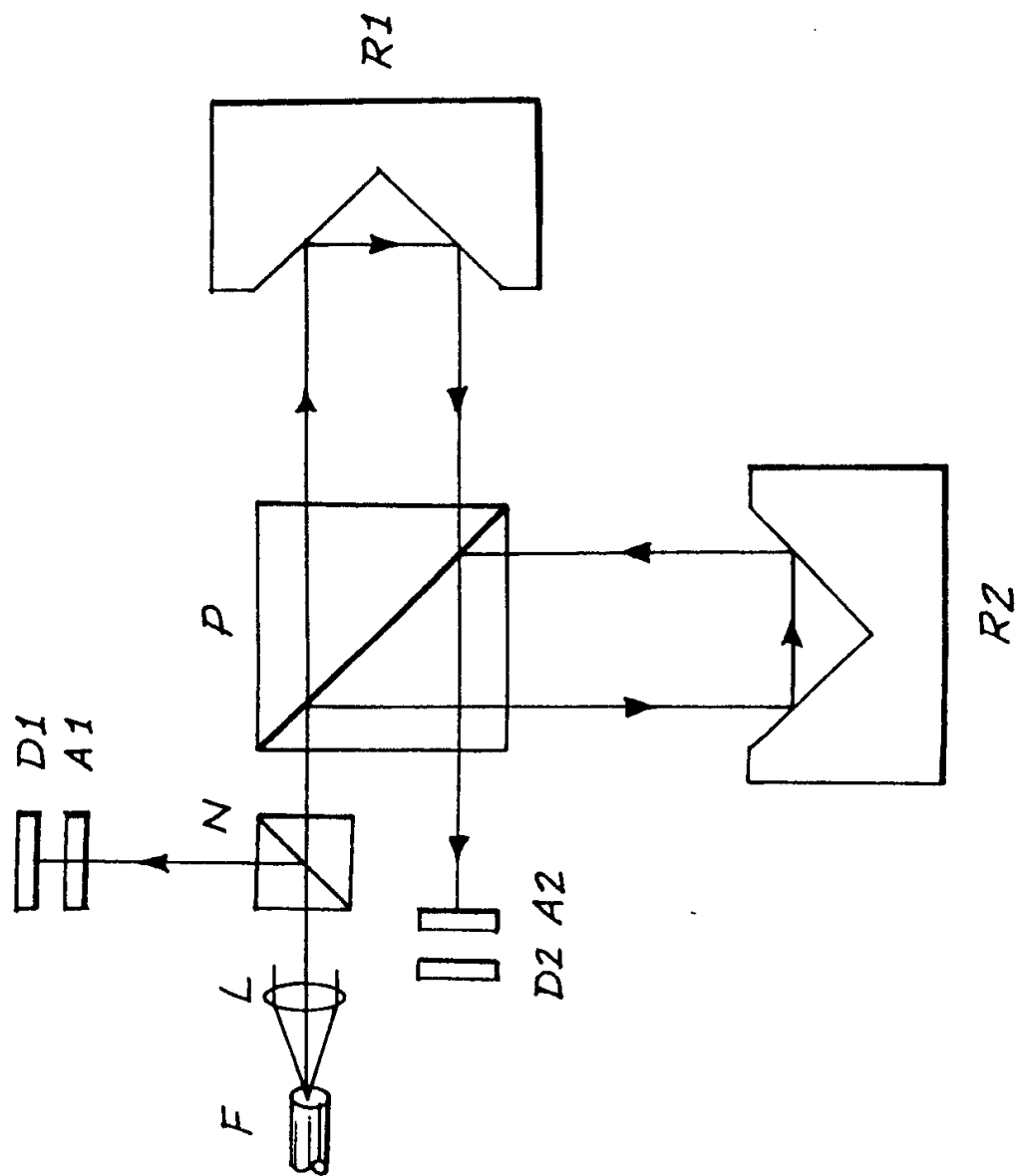


图 4

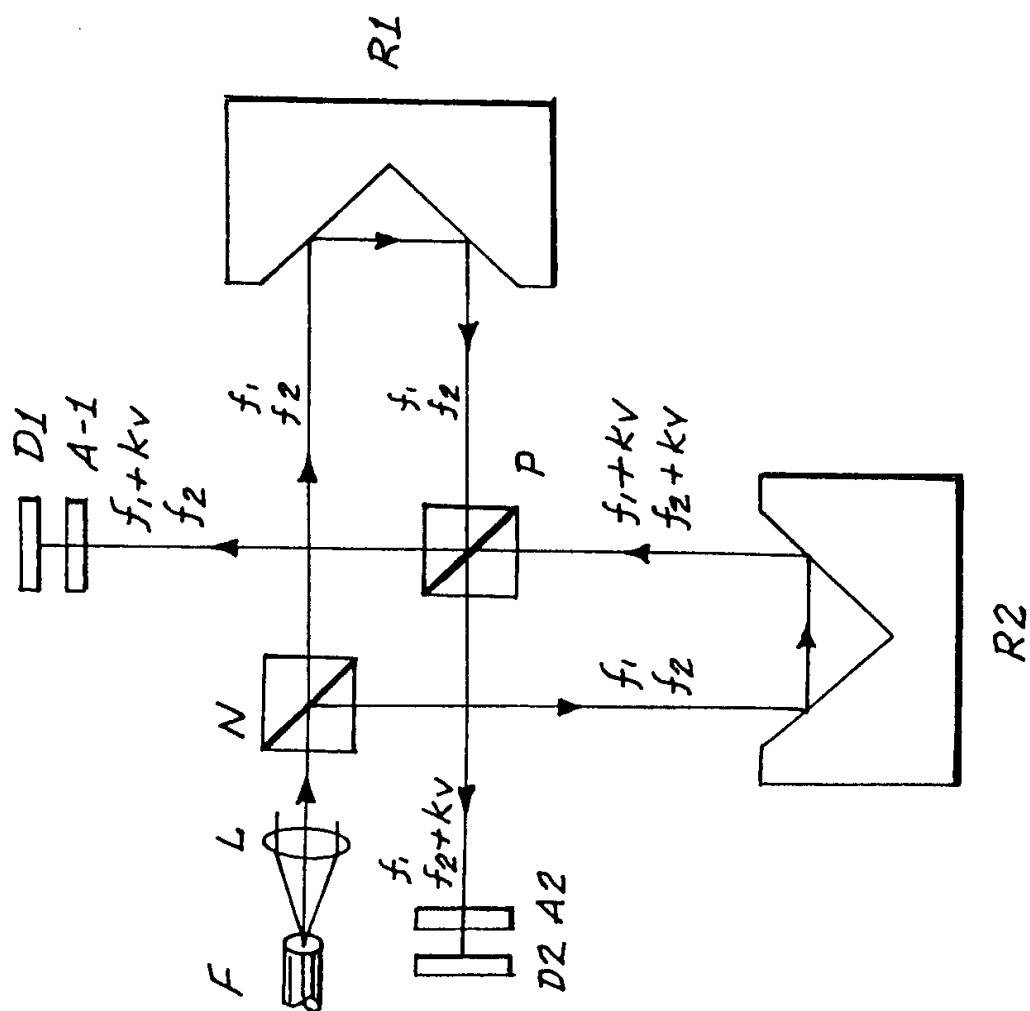


图 5

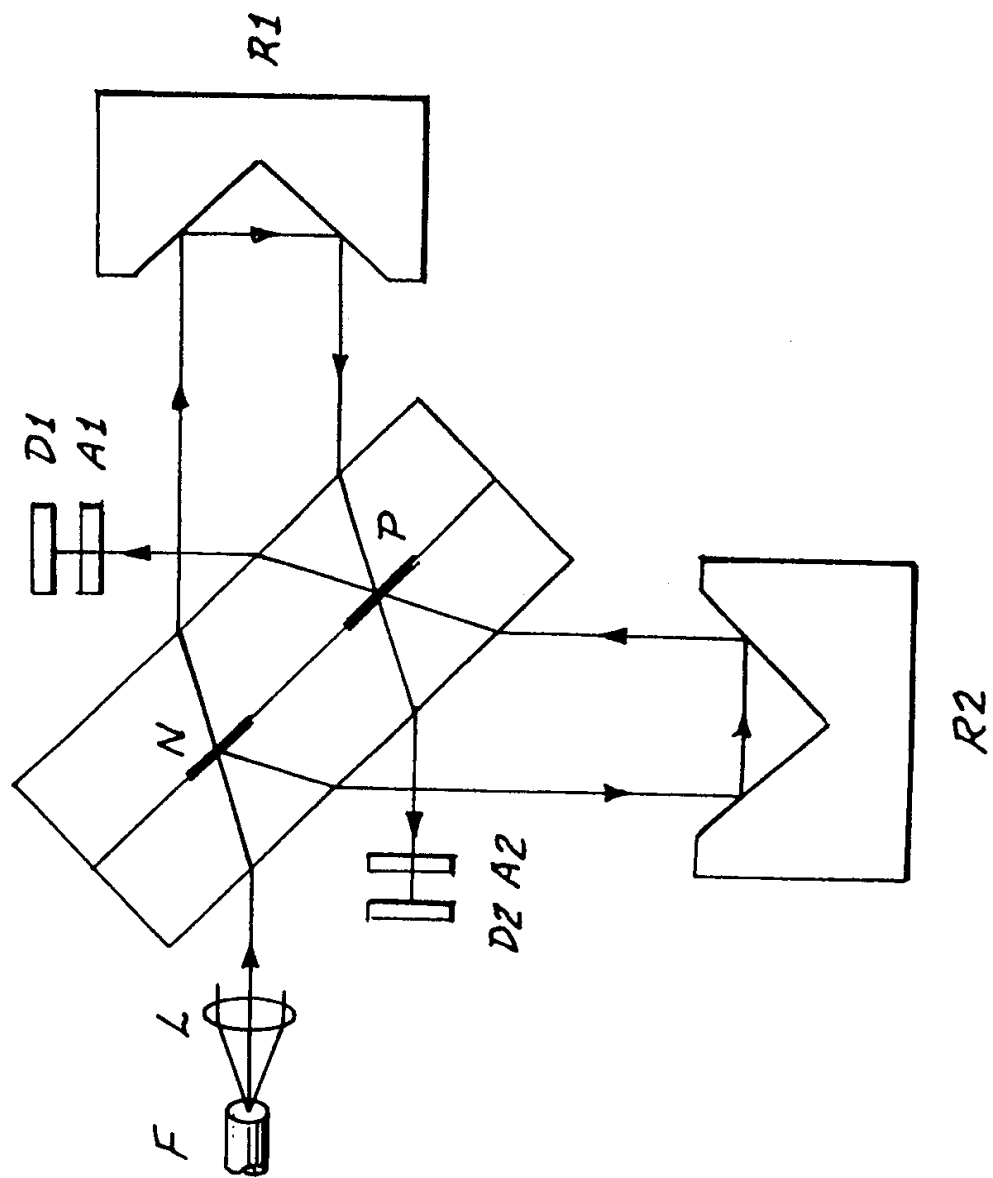


图 6

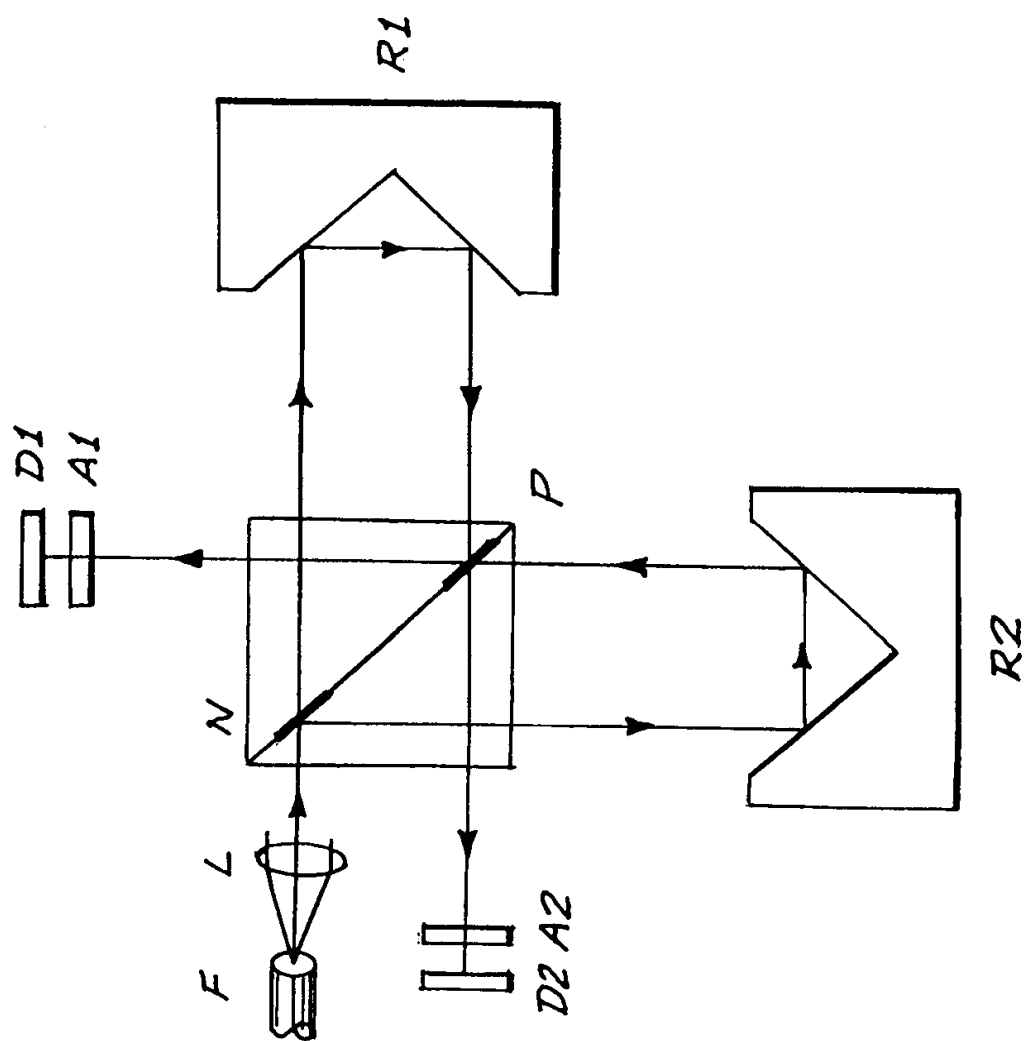


图 7