

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G02B 6/35 (2006.01)

G02B 26/00 (2006.01)

H04Q 11/00 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02821138.3

[45] 授权公告日 2006年5月17日

[11] 授权公告号 CN 1256603C

[22] 申请日 2002.10.22 [21] 申请号 02821138.3

[30] 优先权

[32] 2001.10.24 [33] US [31] 09/999,878

[86] 国际申请 PCT/US2002/033925 2002.10.22

[87] 国际公布 WO2003/036344 英 2003.5.1

[85] 进入国家阶段日期 2004.4.23

[71] 专利权人 英特尔公司

地址 美国加利福尼亚州

[72] 发明人 程中·黄 史蒂文·赛义德·纳西里

兰德尔·布里安·斯普拉格

亚历克斯·哈威特

德米特里·瓦西里·巴金

雅努什·布尔泽卡

审查员 殷 玲

[74] 专利代理机构 北京东方亿思知识产权代理有
限责任公司

代理人 王 怡

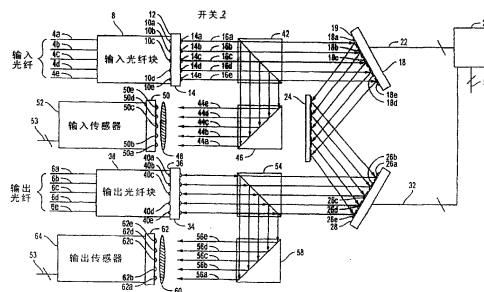
权利要求书 5 页 说明书 28 页 附图 15 页

[54] 发明名称

光纤开关的对准

[57] 摘要

根据本发明实施例的光纤开关包括第一多个端口(10a-10e)、第二多个端口(40a-40e)、位于第一表面上的第一多个镜面(18a-18e)和位于第二表面上的第二多个镜面(26a-26e)。第一多个镜面中的每一个都可单独控制,以将从第一多个端口中对应的一个所输出的光,引导到第二多个镜面中的任一个。第二多个镜面中的每一个都可单独控制,以将从第一多个镜面中任一个入射到其上的光,引导到第二多个端口中对应的一个。有利的是,根据本发明实施例的光纤开关可以以小于约3分贝的插入损耗,来将大于一千个的输入端口耦合到大于一千个的输出端口。



1. 一种光开关, 包括:
 - 第一多个端口;
 - 5 第二多个端口;
 - 位于第一表面上的第一多个镜面;
 - 位于第二表面上的第二多个镜面; 和
 - 二色光学元件, 位于所述第一多个镜面和所述第二多个镜面之间以将监控光束从所述第一多个镜面反射到所述第二多个镜面;
- 10 其中所述第一多个镜面中的每一个都可单独控制, 以将从所述第一多个端口中对应的一个端口所输出的光, 经由所述二色光学元件而引导到所述第二多个镜面中的任一个; 并且
- 其中所述第二多个镜面中的每一个都可单独控制, 以将从所述第一多个镜面中任一个入射到所述第二多个镜面中的所述每一个镜面上的光, 引
- 15 导到所述第二多个端口中对应的一个端口。
2. 如权利要求 1 所述的光开关, 其中所述第一多个端口和所述第二多个端口每个都包括大于约 1000 个端口。
3. 如权利要求 1 所述的光开关, 其中所述第一多个镜面和所述第二多个镜面每个都包括大于约 1000 个镜面。
- 20 4. 如权利要求 1 所述的光开关, 其中所述第一多个镜面中的每个和所述第二多个镜面中的每个的方向, 都可以以好于约 0.005° 的角度精度来控制。
5. 如权利要求 1 所述的光开关, 其中所述第一多个端口、所述第二多个端口、所述第一多个镜面和所述第二多个镜面相对于所述二色光学元件
- 25 对称布置。
6. 如权利要求 1 所述的光开关, 其中所述二色光学元件是二色分光器。
7. 如权利要求 1 所述的光开关, 其中由所述第一多个端口中的一个所输出的光, 被聚焦到所述第一多个镜面和所述第二多个镜面之间的光腰。

8. 如权利要求 1 所述的光开关, 其中由所述第一多个端口中的一个所输出的光, 以相对于垂直所述第一表面的轴小于约 25° 的角度, 入射到所述第一多个镜面中的一个上。

9. 如权利要求 1 所述的光开关, 还包括分光器, 所述分光器布置在所述第一多个端口和所述第一多个镜面之间的光路中。

10. 如权利要求 1 所述的光开关, 还包括二色光学元件, 所述二色光学元件布置在所述第一多个端口和所述第一多个镜面之间的光路中。

11. 如权利要求 1 所述的光开关, 其中所述光开关以小于约 3 分贝的插入损耗来工作。

12. 一种光开关, 包括:

第一多个端口;

第二多个端口;

位于第一表面上的第一多个镜面;

位于第二表面上的第二多个镜面; 和

15 二色光学元件, 位于所述第一多个端口和所述第一多个镜面之间的光路中;

反射结构, 光学耦合在所述二色光学元件和传感器之间以将光束从所述二色光学元件反射到所述传感器;

20 其中所述第一多个镜面中的每一个都可单独控制, 以将从所述第一多个端口中对应的一个所输出的光, 引导到所述第二多个镜面中的任一个; 并且

其中所述第二多个镜面中的每一个都可单独控制, 以将从所述第一多个镜面中任一个入射到所述第二多个镜面中的所述每一个镜面上的光, 引导到所述第二多个端口中对应的一个。

25 13. 如权利要求 12 所述的光开关, 其中所述第一多个端口和所述第二多个端口每个都包括大于约 1000 个端口。

14. 如权利要求 12 所述的光开关, 其中所述第一多个镜面和所述第二多个镜面每个都包括大于约 1000 个镜面。

15. 如权利要求 12 所述的光开关, 其中所述第一多个镜面中的每个和

所述第二多个镜面中的每个的方向，都可以以高于约 0.005° 的角度精度来控制。

16. 如权利要求 12 所述的光开关，其中所述第一多个端口、所述第二多个端口、所述第一多个镜面和所述第二多个镜面对称布置。

5 17. 如权利要求 12 所述的光开关，其中所述二色光学元件是二色分光器。

18. 如权利要求 12 所述的光开关，其中由所述第一多个端口中的一个所输出的光，被聚焦到所述第一多个镜面和所述第二多个镜面之间的光腰。

10 19. 如权利要求 12 所述的光开关，其中由所述第一多个端口中的一个所输出的光，以相对于垂直所述第一表面的轴小于约 25° 的角度，入射到所述第一多个镜面中的一个上。

20. 如权利要求 12 所述的光开关，还包括二色光学元件，所述二色光学元件布置在所述第二多个端口和所述第二多个镜面之间的光路中。

15 21. 如权利要求 12 所述的光开关，其中所述光开关以小于约 3 分贝的插入损耗来工作。

22. 如权利要求 12 所述的光开关，其中为将光从所述第一多个端口引导到所述第二多个镜面中的任一个，第一多个镜面中的任何一个镜面可以倾斜的最大角度小于约 10 度。

20 23. 一种光开关，包括：

第一多个端口；

第二多个端口；

位于第一表面上的第一多个镜面；

位于第二表面上的第二多个镜面；

25 分光器，位于所述第一多个端口和所述第一多个镜面之间的光路中；

和

反射结构，光学耦合在所述分光器和物镜之间以将光束从所述分光器反射到所述物镜；

其中所述第一多个镜面中的每一个都可单独控制，以将从所述第一多

个端口中对应的一个端口所输出的光，引导到所述第二多个镜面中的任一个；并且

其中所述第二多个镜面中的每一个都可单独控制，以将从所述第一多个镜面中任一个入射到所述第二多个镜面中的所述每一个镜面上的光，引导到所述第二多个端口中对应的一个端口。

24. 如权利要求 23 所述的光开关，其中所述第一多个端口和所述第二多个端口每个都包括大于约 1000 个端口。

25. 如权利要求 23 所述的光开关，其中所述第一多个镜面和所述第二多个镜面每个都包括大于约 1000 个镜面。

26. 如权利要求 23 所述的光开关，其中所述第一多个镜面中的每个和所述第二多个镜面中的每个的方向，都可以以高于约 0.005° 的角度精度来控制。

27. 如权利要求 23 所述的光开关，其中所述第一多个端口、所述第二多个端口、所述第一多个镜面和所述第二多个镜面对称布置。

28. 如权利要求 23 所述的光开关，其中由所述第一多个端口中的一个所输出的光，被聚焦到所述第一多个镜面和所述第二多个镜面之间的光腰。

29. 如权利要求 23 所述的光开关，其中所述光开关以小于约 3 分贝的插入损耗来工作。

30. 如权利要求 23 所述的光开关，还包括分光器，位于所述第二多个端口和所述第二多个镜面之间的光路中。

31. 如权利要求 23 所述的光开关，其中从所述第一多个端口中的一个输出的光，以相对于与所述第一表面垂直的轴小于约 25° 的角度入射到所述第一多个镜面中的一个上。

32. 一种光开关，包括：

第一多个端口；

第二多个端口；

位于第一表面上的第一多个镜面；和

位于第二表面上的第二多个镜面，其中所述第一多个镜面和所述第二

多个镜面将监控光束从所述第一多个端口反射到所述第二多个端口；

其中所述第一多个镜面中的每一个都可单独控制，以将从所述第一多个端口中对应的一个端口所输出的光，引导到所述第二多个镜面中的任一个；

- 5 其中所述第二多个镜面中的每一个都可单独控制，以将从所述第一多个镜面中的任一个入射到所述第二多个镜面中的所述每一个镜面上的光，引导到所述第二多个端口中对应的一个端口；

第一二色光学元件，位于所述第一多个端口和所述第一多个镜面之间的光路中；

- 10 第一反射结构，光学耦合在所述第一二色光学元件和第一传感器之间以将第一光束从所述第一二色光学元件反射到所述第一传感器；

第二二色光学元件，位于所述第二多个端口和所述第二多个镜面之间的光路中；和

- 15 第二反射结构，光学耦合在所述第二二色光学元件和第二传感器之间以将第二光束从所述第二二色光学元件反射到所述第二传感器；以及

控制系统，基于在所述第一传感器和所述第二传感器处检测到的光强，控制和监控所述第一多个镜面和所述第二多个镜面中每个镜面的方向。

- 20 33. 如权利要求 32 所述的光开关，其中所述第一多个端口和所述第二多个端口每个都包括大于约 1000 个端口，而所述第一多个镜面和所述第二多个镜面每个都包括大于约 1000 个镜面。

34. 如权利要求 32 所述的光开关，其中所述光开关以小于约 3 分贝的插入损耗来工作。

- 25 35. 如权利要求 32 所述的光开关，其中从所述第一多个端口中的一个输出的光，以相对于与所述第一表面垂直的轴小于约 25° 的角度入射到所述第一多个镜面中的一个上。

36. 如权利要求 32 所述的光开关，其中所述第一多个镜面中的每个和所述第二多个镜面中的每个的方向，都可以以高于约 0.005° 的角度精度来控制。

光纤开关的对准

5 技术领域

本发明涉及光纤交叉连接交换。

背景技术

10 随着光纤不断地补充并代替作为电信网络骨干的金属导线，路由光信号的开关已变成明显的瓶颈。传输系统移动作为光学光子的信息，而交换、路由、复用和解复用光信号的交换系统和所谓的交叉连接结构一般都是电子化的。电子交换要求在称为光-电-光（OEO）转换的过程中，光被转换成电信号来穿过开关，然后被重新转换成光，这个过程导致时间延迟和耗费。

15 因此在电信工业中，对开发全光交换以避免必须多次 OEO 转换有着很大的兴趣。例如，如 Bishop 等人在《科学美国人》（Science American）（2001 年 1 月 pp.88-94）中所描述的，提出了基于多种基础技术的全光开关，包括微机电系统（MEMS）的倾斜镜面、热光器件、由喷墨打印头形成的气泡和液晶。基于 MEMS 镜面的光纤开关尤其有吸引力，
20 因为它们可结合超大规模集成光路（very large scale integrated circuit）并能够是鲁棒的、长期使用的和可扩充的。

例如，在 Lin 的美国专利 5,960,132 中所描述的一种光纤开关，包括铰接 MEMS 镜面的阵列，其中每个都可绕其枢轴在反射状态和非反射状态之间旋转。需要一个有 N^2 个这种镜面的阵列来将由 N 个输入光纤承载的信号从 N 个输出光纤的一个切换到另一个。很不幸，对于大的 N ， N^2 的标度
25 会导致复杂得无法管理的器件。

在以上所引的 Bishop 等人的文章以及 Bishop 等人在《Photonics Spectra》（2000 年 3 月 pp.167-169）中所描述的另一一种光纤开关，包括位于单个表面上的 MEMS 镜面阵列。每个镜面独立地倾斜，以将从输入/输

出光纤接收的光引导到任一个其他的镜面，并由此引导到任一个输入/输出光纤。这种光纤开关似乎不包括光学诊断，该光学诊断将使得能够对镜面方向进行主动闭环光反馈控制或者允许检测输入的存在。

具有低插入损耗并能够交叉连接大量输入输出光纤的光纤开关，将促进光纤电信网络的发展。

发明内容

根据本发明的光纤开关包括第一多个端口、第二多个端口、位于第一表面上的第一多个镜面和位于第二表面上的第二多个镜面。二色光学元件位于所述第一多个镜面和所述第二多个镜面之间以将监控光束从所述第一多个镜面反射到所述第二多个镜面。第一多个镜面中的每一个都可单独控制，以将从第一多个端口中对应的一个所输出的光，引导到第二多个镜面中的任一个。第二多个镜面中的每一个都可单独控制，以将从第一多个镜面中任一个入射到其上的光，引导到第二多个端口中对应的一个。

第一多个和第二多个镜面每个都包括大于约 1000 个镜面。这些镜面都可以以高于约 0.005° 的角度精度来控制。第一和第二多个端口每个都包括大于约 1000 个端口。

在一个实施例中，从第一多个镜面到第二多个镜面的光路经由二色光学元件，例如二色分光器或者二色镜。用来测量和控制各个镜面的方向、并具有不同于光纤所承载的（例如电信）光的波长的控制光束，可方便地穿过该二色光学元件，并被引导到例如各个镜面或者位置感应检测器。

在另一个实施例中，二色光学元件布置在第一多个端口和第一多个镜面之间的光路中。控制光束也可方便地穿过该二色光学元件，并被引导到例如各个镜面或者位置感应检测器。

在另一个实施例中，由第一多个端口中的一个输出的光，以相对于垂直第一表面的轴小于约 25° 的角度，入射到第一多个镜面中的一个上。在一种实现中，第二多个镜面中的一个类似地将第一多个镜面中的一个接收的光，以相对于垂直第二表面的轴小于约 25° 的角度，反射到第二多个端口中的一个。在一种实现中，通过折镜来帮助实现这种小角度的入射和反射。在另一种实现中，不用折镜来实现这种小角度的入射和反射。

作为小角度入射和反射的结果，光束在镜面上的覆盖区接近于圆形。这允许对小的、接近圆形的镜面的有利使用，这样的镜面惯性小，从而比更大或者基本上非圆形的镜面更容易移动。此外，在加上诸如反射涂层之类的涂层时，接近圆形的镜面比基本上非圆形的镜面变形更小。

- 5 另一个实施例包括布置在第一多个端口和第一多个镜面之间的光路中的分光器。该分光器可以例如将第一多个端口中的一个所输出光的一部分引导到检测器，并由此提供对输入信号（例如电信光束）的存在和水平的检测。类似地，光开关可包括布置在第二多个镜面和第二多个端口之间的光路中的分光器。这种分光器可以例如将由第二多个端口中的一个所反射光的一部分（即被导引到端口但未耦合到端口中的光）引导到检测器，并
- 10 由此使得能够验证光开关的对准并检测输出光纤中的故障。

在另一个实施例中，由第一多个端口中的一个输出的光，被聚焦到第一多个镜面和第二多个镜面之间的光腰。这种聚焦允许使用尺寸减小了的光学元件（例如镜面），而基本不增加光学损耗。

- 15 在另一个实施例中，第一多个端口、第二多个端口、第一多个镜面和第二多个镜面对称布置。这种布置可以是相对于例如折镜对称。这种对称的布置允许光双向传输通过光开关，即第一或者第二多个端口可以是输入端口。

- 有利的是，根据本发明实施例的光纤开关可以以小于约 3 分贝的插入
- 20 损耗，来将大于一千个的输入端口耦合到大于一千个的输出端口。

- 根据本发明第二方面的光开关包括：第一多个端口；第二多个端口；位于第一表面上的第一多个镜面；位于第二表面上的第二多个镜面；和二色光学元件，位于所述第一多个端口和所述第一多个镜面之间的光路中；反射结构，光学耦合在所述二色光学元件和传感器之间以将光束从所述二
- 25 色光学元件反射到所述传感器；其中所述第一多个镜面中的每一个都可单独控制，以将从所述第一多个端口中对应的一个所输出的光，引导到所述第二多个镜面中的任一个；并且其中所述第二多个镜面中的每一个都可单独控制，以将从所述第一多个镜面中任一个入射到所述第二多个镜面中的所述每一个镜面上的光，引导到所述第二多个端口中对应的一个。

根据本发明第三方面的光开关包括：第一多个端口；第二多个端口；位于第一表面上的第一多个镜面；位于第二表面上的第二多个镜面；分光器，位于所述第一多个端口和所述第一多个镜面之间的光路中；和反射结构，光学耦合在所述分光器和物镜之间以将光束从所述分光器反射到所述物镜；其中所述第一多个镜面中的每一个都可单独控制，以将从所述第一多个端口中对应的一个端口所输出的光，引导到所述第二多个镜面中的任一个；并且其中所述第二多个镜面中的每一个都可单独控制，以将从所述第一多个镜面中任一个入射到所述第二多个镜面中的所述每一个镜面上的光，引导到所述第二多个端口中对应的一个端口。

10 根据本发明第四方面的光开关包括：第一多个端口；第二多个端口；位于第一表面上的第一多个镜面；和位于第二表面上的第二多个镜面，其中所述第一多个镜面和所述第二多个镜面将监控光束从所述第一多个端口反射到所述第二多个端口；其中所述第一多个镜面中的每一个都可单独控制，以将从所述第一多个端口中对应的一个端口所输出的光，引导到所述第二多个镜面中的任一个；其中所述第二多个镜面中的每一个都可单独控制，以将从所述第一多个镜面中的任一个入射到所述第二多个镜面中的所述每一个镜面上的光，引导到所述第二多个端口中对应的一个端口；第一二色光学元件，位于所述第一多个端口和所述第一多个镜面之间的光路中；第一反射结构，光学耦合在所述第一二色光学元件和第一传感器之间以将第一光束从所述第一二色光学元件反射到所述第一传感器；第二二色光学元件，位于所述第二多个端口和所述第二多个镜面之间的光路中；和第二反射结构，光学耦合在所述第二二色光学元件和第二传感器之间以将第二光束从所述第二二色光学元件反射到所述第二传感器；以及控制系统，基于在所述第一传感器和所述第二传感器处检测到的光强，控制和监控所述第一多个镜面和所述第二多个镜面中每个镜面的方向。

附图说明

图 1 是根据本发明实施例的光开关的示意图。

图 2 是根据本发明另一个实施例的光开关的示意图。

图 3 是根据本发明实施例包括输入输出传感器的光开关的示意图。

图 4 是根据本发明实施例包括监控信道的光开关的示意图。

图 5 是在根据本发明实施例的光开关中控制光束的光路示意图。

5 图。图 6 是在根据本发明另一个实施例的光开关中控制光束的光路示意图。

图 7 是在根据本发明另一个实施例的光开关中控制光束的光路示意图。

图 8 是在根据本发明实施例的光开关中参考光束的光路示意图。

10 图。图 9 是在根据本发明另一个实施例的光开关中参考光束的光路示意图。

图 10 是在根据本发明另一个实施例的光开关中参考光束的光路示意图。

图 11 是根据本发明的实施例，示出由三个激光器所提供的光脉冲的相对时序的时序图。

15 图 12 以流程图图示了校准和对准根据本发明实施例的光开关的方法。

图 13 以流程图图示了操作根据本发明实施例的光开关的方法。

图 14 以流程图图示了重校准根据本发明实施例的光开关的方法。

20 图 15 以方框图图示了在根据本发明实施例的光开关中，镜面阵列、光源和位置感应检测器之间的关系。

各个图中类似的标号指示各个实施例中相同的部件。图中的尺度不一定是成比例的。

具体实施方式

25 根据本发明实施例的光纤交叉连接开关，将通过 N 个输入端口中任一个输入的光路由到 P 个输出端口中任一个。在通过开关的典型光路中，通过输入端口进入开关的光，入射到第一个微机械镜面二维阵列中相应的第一微机械镜面上。可在一定范围的任意方向($d\theta, d\varphi$)内定向的第一微机械镜面，被倾斜来将光引导到第二个微机械镜面二维阵列中的第二微机械镜面

上。可在一定范围的任意方向($d\theta, d\phi$)内定向的第二微机械镜面, 被倾斜来将光引导到相应的输出端口, 而从该开关出来。

通过重定向第一微机械镜面来将光引导到第二微镜面阵列中的第三微机械镜面, 并将第三微机械镜面定向来将光引导到其相应的输出端口, 而
5 可将光从其初始时被导向的输出端口, 切换到另一个输出端口。提供控制系统来控制微机械镜面的定向, 从而完成交换。将描述多个实施例, 其中通过反射来自微机械镜面的光束(与那些路由穿过光纤开关并被其切换的光束分开), 并测量所反射的光束入射在位置感应检测器上的位置, 来测量和控制各个微机械镜面的定向。

10 尽管在以下所述实施例中输入端口的数量等于输出端口的数量($N=P$), 但在其他实施例中 $N<P$ 或者 $N>P$ 。

为解释的方便, 将参考以下来描述根据一个实施例的光纤交叉连接开关 2 (图 1): 作为输入端口的 $N=5$ 个输入光纤 4a-4e, 作为输出端口的 $P=N=5$ 个输出光纤 6a-6e, 以及位于光路中输入光纤 4a-4e 和输出光纤 6a-
15 6e 之间的、 $N=5$ 个各种其他光学元件和光束, 如图 1 所示。但是应该理解, 在根据本发明的其他实施例中, N 和 P 两者一般都大于约 1000。例如在一个实施例中, N 约为 1200 并且 $P=N$ 。

如在密集波分复用中常用的, 每个输入光纤都可承载具有多种波长的光。在一种实现中, 输入光纤所承载的光具有接近于约 1310 纳米 (nm)
20 或约 1550 nm 的波长。输入光纤和输出光纤例如是常用的 Corning 公司的 SMF-28 单模光纤, 其具有约 8 微米 (μm) 的芯径和约 125 微米的包层直径。也可使用适合于光通信应用的其他光纤。

参考图 1, N 个输入光纤 4a-4e 进入输入光纤块 8, 其将它们各自的末端 10a-10e 严格地定位在块 8 的表面 12 处的二维阵列中。表面 12 被抛光到例如比约 300 纳米 (nm) 更好的平整度, 以形成包括光纤末端 10a-10e
25 的平整表面。输入光纤块 8 将光纤末端 10a-10e 的位置和方向相对于光开关 2 中的其他光学元件固定, 由此防止光纤末端 10a-10e 的移动使得开关 2 不对准。

在一个实现中, 输入光纤块 8 包括硅板, N 个基本平行的孔穿过该硅

板，这些孔布置成例如具有约 1 毫米 (mm) 的水平和垂直间距的矩形阵列。在每个孔中插入输入光纤 4a-4e 中对应的一个。输入光纤块 8 的表面 12 被抛光来形成基本垂直于输入光纤的平整表面，并包括它们的末端 10a-10e。在表面 12 处，N 个光纤末端形成例如如上所述的矩形阵列。例如对于 N=1200，该阵列可以是 30×40 的矩形阵列。在美国专利申请序列号 No. 09/866,063 中更详细地描述了输入光纤块 8 的各种实现，在此通过参考而被结合进来。

由输入光纤 4a-4e 所承载的光，分别被光纤末端 10a-10e 的纤芯输出为发散光锥。小透镜阵列 14 的 N 个小透镜 14a-14e 分别收集光纤末端 10a-10e 输出的光，并分别形成 N 个基本平行或弱聚焦的光束 16a-16e。小透镜阵列 14 与输入光纤块 8 相邻，其中小透镜 14a-14e 布置成与光纤末端 10a-10e 相匹配的图案，使得小透镜 14a-14e 定位成其光轴分别近似地位于光纤末端 10a-10e 的中心。

在一个实现中，小透镜 14a-14e 具有约 4 mm 的焦距、约 1 mm 的直径，并与输入块 8 的表面 12 隔开将近 3 mm。小透镜阵列 14 由例如熔融石英、光学玻璃、硅、塑料或环氧树脂形成。合适的小透镜阵列可从例如以下公司得到：马萨诸塞州 Cambridge 的 Adaptive Optics Associates 公司、德国 Saarbrücken 的 Advanced Micro Optical Systems 股份有限公司、和纽约 Rochester 的 Corning Rochester Photonics 公司。

由小透镜 14a-14e 形成的光束 16a-16e 入射到微镜面阵列 18 上。微镜面阵列 18 包括位于参考表面 19 之上的 N 个微镜面 18a-18e，其布置成对应于光纤末端 10a-10e 和小透镜 14a-14e 的图案，例如矩形阵列。在沿着表面 19 平行于入射平面的方向上的微镜面 18a-18e 的间距，与小透镜 14a-14e 的对应间距相比被拉长了，使得基本平行或弱聚焦的光束 16a-16e 分别近似中心地入射到微镜面 18a-18e 上，所述入射平面由光束 16a-16e 中的一个和在该光束与表面 19 相交的点处垂直于表面 19 的轴确定。控制系统 20 用经由总线 22 传输的电信号可以在一定范围的任意方向 ($d\theta, d\phi$) 上控制微镜面 18a-18e 相对于参考表面 19 的方向。

在一个实施例中，微镜面阵列 18 是美国专利申请序列号 No.

09/779,189 所描述的微机电系统 (MEMS) 微镜面阵列, 在此通过参考而结合进来。在本实施例中, 微镜面 18a-18e 是由结合到微镜面阵列中的装置所驱动的、可自由旋转的微机电镜面, 这些装置例如是静电、电磁、压电或热驱动装置。也可使用其他类型的微镜面和微镜面阵列。控制系统 20 是例如美国专利申请序列号 No. 09/999,705 和已授权为美国专利号 No. 6,614,954 的美国专利申请序列号 No. 10/003,659 中所描述的光开关控制系统, 这两者在此都通过参考而结合进来。

在一种实现中, 光束 16a-16e 以通常相对于垂直于镜面阵列参考表面 19 的轴所定义的小于约 25° 的入射角, 入射到微镜面阵列 18 上, 因此光束 16a-16e 分别在微镜面 18a-18e 上的覆盖区 (光束点) 接近圆形。在此实现中, 各个微镜面上光束的入射角可以例如从约 15° 变化到约 35° 。在其他实现中, 光束可以例如约 0° 到约 60° 的入射角入射到微镜面阵列 18 上。

微镜面处的光束点可具有接近均匀的强度, 或者例如沿径向变化的强度。本领域技术人员将认识到, 具有径向变化强度的光束点直径可根据强度分布的形式以标准方式确定。例如, 具有径向分布 $I(r) = I(0)\exp(-2(r/w)^2)$ 的高斯光束点的直径一般取作 $2w$ 。

在一种实现中, 微镜面处的光束点是直径约 0.6 mm 的近似圆形。小的、近似圆形的光束点允许使用小的、近似圆形的微镜面 18a-18e。这是有优势的, 因为微镜面越小, 其惯性就越小并越容易移动。此外, 近似圆形的镜面受到来自对其涂覆的任何涂层更均匀的应力, 因此比类似涂覆的基本非圆形的镜面变形更小。微镜面 18a-18e 是例如近似椭圆形的, 其长轴和短轴分别约为 1.0 mm 和 0.9 mm。

微镜面 18a-18e 分别将入射光束反射到折镜 (fold mirror) 24 上。在一种实现中, 折镜 24 是常规的涂金的平面镜, 其在包括 1310 nm 和 1550 nm 的红外波长处具有高反射率 ($>98\%$)。这种常规的涂金镜面可从许多商业来源获得。在所图示实施例的另一个实现中, 折镜 24 是平面二色分光器, 其对具有约 600 nm 到约 1000 nm 波长的入射光透射约 30%到约 70%, 优选地是约 50%, 并对具有约 1200 nm 到约 1700 nm 波长的入射红

外光反射大于约 90%，优选地是大于约 98%。这种二色镜可从许多商家得到。

通常选择这样一种二色分光器 24 的反射率，使得允许至少部分地将电信中所使用光的波长（例如 1200 nm 到 1700 nm），与下面描述的控制光束所使用的非电信波长的另一个范围（例如 600 nm 到 1000 nm）分离。5 在一些实施例中，这样一种二色分光器 24 在控制光束所使用的非电信波长处的反射率是约 5%到约 95%。

折镜 24 将入射光束 16a-16e 反射到微镜面阵列 26 上。微镜面阵列 26 包括位于参考表面 28 之上的 N 个微镜面 26a-26e。微镜面 26a-26e 相对于参考表面 28 的方向，可由控制系统 20 用经由总线 32 传输的电信号而分别控制。在一种实现中，微镜面阵列 18 和 26 基本相同。10

微镜面 18a-18e 中的每个都可控制，以将从输入光纤块 8 入射到其上的光束，经由折镜 24 反射到微镜面 26a-26e 的任一个上。因此，控制系统 20 可控制微镜面 18a-18e 的方向，以经由折镜 24 来将光束 16a-16e 中的任一个反射到微镜面 26a-26e 的任一个的近似中心上。例如，尽管图 1 示出了由微镜面 18a 经由折镜 24 反射到微镜面 26a 的光束 16a，但光束 16a 也可由微镜面 18a 经由折镜 24 反射到微镜面 26b-26e 的任一个。因此，光束 16a-16e 不一定要在微镜面阵列 18 和微镜面阵列 26 之间相互基本平行。15

控制系统 20 控制微镜面 26a-26e 的方向，以将从微镜面阵列 18 入射到其上的光束，分别反射到小透镜阵列 34 的 N 个小透镜 34a-34e 的近似中心上。图 1 示出了微镜面 26a-26e 将入射光束 16a-16e 分别反射到小透镜 34a-34e。但是应该理解，微镜面 26a-26e 中每一个特定微镜面都被控制，以将入射到其上的光束 16a-16e 中的无论哪一个，反射到对应于该特定微镜面的小透镜 34a-34e。例如，微镜面 26a 被控制来将入射到其上的光束 25 16a-16e 中的无论哪一个都反射到小透镜 34a。

微镜面 26a-26e 以与小透镜 34a-34e 的图案相对应的图案定位于表面 28 之上，在一个方向上具有拉长的间距，使得光束 16a-16e 在镜面阵列 26 和小透镜阵列 34 之间基本平行或者弱聚焦。在一种实现中，光束 16a-16e 以通常相对于垂直于表面 28 的轴所定义的小于约 25° 的反射角，从镜面

阵列 26 反射到小透镜阵列 34。因此在本实现中，光束 16a-16e 在微镜面 26a-26e 上的覆盖区接近圆形，其光束点直径例如约为 0.6 mm。在此实现中，光束从各个微镜面的反射角可以例如从约 15° 变化到约 35°。在其他实现中，光束以例如约 0° 到约 60° 的反射角从微镜面阵列 26 反射。

5 小透镜阵列 34 与输出光纤块 38 的表面 36 相邻。小透镜阵列 34 例如与小透镜阵列 14 基本相同。

输出光纤块 38 将输出光纤 6a-6e 的 N 个末端 40a-40e 严格地定位在表面 36 处的二维阵列中。表面 36 被抛光以形成包括光纤末端 40a-40e 的平整表面。输出光纤块 38 相对于光开关 2 中的其他光学元件固定光纤末端
10 40a-40e 的位置，由此防止光纤末端 40a-40e 的移动使得开关 2 不对准。输出光纤块 38 例如与输入光纤块 8 基本相同。

小透镜 34a-34e 布置成与光纤末端 40a-40e 相匹配的图案，使得小透镜 34a-34e 定位成其光轴分别近似地位于光纤末端 40a-40e 的中心。小透镜 34a-34e 将分别由微镜面 26a-26e 反射的光束，分别聚焦到光纤末端 40a-
15 40e 的纤芯，以完成从输入端口到输出端口的连接。

光纤开关 2 可以是对称的。例如在一个对称的实施例中，光纤块 8 和 38 基本相同并相对于折镜 24 对称地定位，小透镜阵列 14 和 34 基本相同并相对于折镜 24 对称地定位，并且镜面阵列 18 和 26 基本相同并相对于折镜 24 对称地定位。在对称实施例中，光束 16a-16e 的光路可以是基本对称的，其中光束 16a-16e 在输入光纤末端 10a-10e 和输出光纤末端 40a-40e 的
20 中间被近似聚焦。

例如在一个对称实施例中，光束 16a-16e 在小透镜阵列 14 和 34 处具有大约 0.8 mm 的光束点直径，在镜面阵列 18 和 26 处具有大约 0.6 mm 的光束点直径，并在折镜 24 处具有大约 0.5 mm 的光束点直径。这种对称实施例允许光以最小的光学功率损耗通过光纤开关 2 双向传输，即端口 4a-
25 4e 或者端口 6a-6e 都可以是输入端口。而且，对称实施例比不对称的实施例需要更少类型的部件，因此更容易并更便宜地制造。

一般将光纤开关 2 中光学元件的尺寸选择成较小，以允许开关装入例如小机柜空间中，并使得开关中的光学功率损耗最小。

图 1 所示实施例中镜面阵列 18、折镜 24 和镜面阵列 26 的折叠构形所产生的光束 16a-16e 的路径，在光学上等价于这样的不折叠构形所产生的光束 16a-16e 的路径，即其中镜面阵列 26 的位置通过折镜 24 的平面而映射，并且去掉折镜 24。例如，图 2 示出了具有不折叠构形的实施例，该构形等价于图 1 所示实施例的折叠构形。在图 2 所示的实施例中，微镜面 18a-18e 中的每个都可控制，来将从输入光纤块 8 入射到其上的光束直接反射到微镜面 26a-26e 的任一个。

在图 2 所示的实施例中，镜面阵列 18 和 26 的方向基本相互平行。这样，在图 1 所示的光学上等价的实施例中，镜面阵列 18 和 26 的相对方向在光学上与基本平行是等价的。在镜面阵列 18 和 26 基本平行的不折叠实施例中，以及在光学上等价的折叠实施例中，与具有其他光学构形的实施例相比，减小了最大旋角（maximum swing angle），微镜面 18a-18e 和 26a-26e 中的任一个必须分别相对于表面 19 和 28 倾斜这样的角度，以将光束 16a-16e 中的一个引导到输出光纤 6a-6e 中的一个。例如在镜面阵列 18 和 26 每个都包括约 1200 个镜面的实现中，微镜面 18a-18e 和 26a-26e 中的任一个必须倾斜的最大角度小于约 10° 。因此与需要更大旋角的构形相比就减少了交换时间。而且，当光束 16a-16e 中的一个被从输出光纤 6a-6e 中的一个切换到另一个时，产生的最大光程差被相应地减小到小于约 1 厘米。因此，光束 16a-16e 在例如镜面阵列 26 和小透镜阵列 34 处具有类似的发散和直径，并由此经历类似的衰减。这样，光束 16a-16e 之间的耦合损耗变化就较小。

光纤开关 2 还可包括分光器，其被布置来对通过输入光纤 4a-4e 进入光开关 2 的光进行采样。例如，这种采样使得输入光的强度可被监控。参考图 3，在一个实施例中光纤开关 2 包括分光器 42，其被布置来分别反射光束 16a-16e 的部分来形成 N 个光束 44a-44e。在一种实现中，分光器 42 是由 BK 7 光学玻璃形成的立方体分光器，其所具有的电介质涂层在约 1200 nm 到约 1700 nm 的红外波长处的反射率约为 2%。在另一种实现中，分光器 42 是由 BK 7 光学玻璃形成的二色立方体分光器，其所具有的电介质涂层在约 1200 nm 到约 1700 nm 的红外波长处的反射率约为 2%，在约

600 nm 到约 1000 nm 的波长处的反射率约为 40%到约 60%，优选的是 50%。这种分光器可以从例如加利福尼亚 Gardena 的 Harold Johnson Optical Laboratories 公司得到。合适的分光器涂层可从例如加利福尼亚 Torrance 的 ZC&R Coatings For Optics 公司得到。

5 光束 44a-44e 被用来提供恰当光路的常规的 90° 棱镜 46（或者常规的镜面）反射到常规的物镜 48。常规物镜 48 收集光束 44a-44e 并将其分别引导到小透镜阵列 50 的 N 个小透镜 50a-50e 上。在一种实现中，物镜 48 的焦距约为 50 mm，而小透镜 50a-50e 的焦距大于约 50 mm。在此实现中物镜 48 和小透镜 50a-50e 组合的焦距小于约 50 mm。小透镜阵列 50 是例如
10 类似于小透镜阵列 14 和 34 的小透镜阵列，并可从相同来源得到。

小透镜 50a-50e 将光束 44a-44e 聚焦到与小透镜阵列 50 相邻的输入传感器 52 上的 N 个分离的点上。至少有 N 个像素的输入传感器 52 检测光束 44a-44e 中每个的强度，以监控输入光纤 4a-4e 的输入信号水平。输入传感器 52 可经由总线 53 向控制系统 20 提供与所检测强度对应的电信号。这
15 样，输入传感器 52 允许对输入光纤 4a-4e 中每个的输入信号的存在和水平进行检测。在一种实现中，输入传感器 52 是可从新泽西普林斯顿的 Sensors Unlimited 公司得到的、具有 128×128 像素阵列的 SU128-1.7RT 型红外照相机。

光纤开关 2 还可包括分光器，其被布置来对从光纤末端 40a-40e 或光
20 纤块 38 反射的光进行采样。这种采样使得所反射光的强度可被监控。所测量的反射强度可在用于对准光纤开关 2 的方法中使用。例如在图 3 所示的实施例中，光开关 2 包括分光器 54，其被布置来从被输出光纤块 38 或者光纤末端 40a-40e 所反射的光束 16a-16e 的部分，形成 N 个光束 56a-56e。分光器 54 例如与分光器 42 基本相同。光束 56a-56e 被用来提供恰当
25 光路的常规的 90° 棱镜 58（或者常规的镜面）反射到常规的物镜 60。常规物镜 60 收集光束 56a-56e 并将其分别引导到小透镜阵列 62 的 N 个小透镜 62a-62e 上。物镜 60 和小透镜阵列 62 例如分别与物镜 48 和小透镜阵列 50 基本相同。

小透镜 62a-62e 将光束 56a-56e 聚焦到与小透镜阵列 62 相邻的输出传

传感器 64 上的 N 个分离的点上。至少有 N 个像素的输出传感器 64 检测光束 56a-56e 中每个的强度，并经由总线 53 向控制系统 20 提供相应的电信号。光束 56a-56e 的强度分别取决于，由微镜面 26a-26e 所反射的光束与输入光纤末端 40a-40e 分别对准的程度。例如，当由微镜面 26a 所反射的光束被小透镜 34a 聚焦到光纤末端 40a 纤芯的近似中心时，光束 56a 的强度是局部极小值，而如果光束被引导为聚焦在光纤末端 40a 的包层上或者输出光纤块 38 上接近光纤末端 40a 处（包层和光纤块比纤芯反射性更好），则光束 56a 的强度增大。这样，如果另外知道光束 16a-16e 完全对准（从下面所讨论的诊断），那么极小的反射强度就证实在输出光纤 6a-6e 上存在输出信号。而且，如果相应的输出光纤断裂了，那么反射光束的强度也会较高。这样，输出传感器 64 允许输出光纤的故障检测。

在一个实施例中，N 个输入光纤中的 Q 个和 P 个输出光纤中的 Q 个，是专用于监控光开关 2 性能的监控信道。例如在一种实现中，1200 个输入光纤中的 9 个和 1200 个输出光纤中的 9 个是监控信道。通常监控信道近似均匀地分布在由输入光纤块 8 和输出光纤块 38 形成的光纤阵列中。例如，九个监控信道可分布在输入或输出光纤的矩形阵列的四个角、四条边和中心中。输入和输出监控信道的空间分布不用匹配。

例如在图 4 所示的实施例中，光纤 4a 和 4e 以及光纤 6a 和 6e 是监控信道。当然，也可为监控信道作其他选择。在此实施例中作为监控光束的光束 16a 和 16e 分别从这样的光来形成，这种光由激光器 68a 和 68e 输出并分别由常规光纤耦合器 66a 和 66e 分别耦合到输入光纤 4a 和 4e。检测器 72a 和 72e 分别由光纤耦合器 66a 和 66e 分别耦合到光纤 4a 和 4e，以测量分别从激光器 68a 和 68e 耦合到这些光纤中的光的强度。检测器 72a 和 72e 经由总线 53 向控制系统 20 提供与其所测量的光强对应的电信号。

监控光束 16a 和 16e 可用微镜面 18a、18e、26a 和 26e 引导到（监控信道）光纤 6a 和 6e 中的一个。检测器 78a 和 78e 分别由常规光纤耦合器 74a 和 74e 分别耦合到光纤 6a 和 6e，以检测由激光器 68a 和 68e 中的一个输出并耦合到这些光纤中的光的强度。检测器 78a 和 78e 经由总线 53 向控制系统 20 提供与其所测量的光强对应的电信号。

或者，监控光束可分别从由激光器 76a 和 76e 所输出的光来形成，激光器 76a 和 76e 分别由常规光纤耦合器 74a 和 74e 分别耦合到光纤 6a 和 6e。检测器 80a 和 80e 分别由光纤耦合器 74a 和 74e 分别耦合到光纤 6a 和 6e，以测量分别从激光器 76a 和 76e 耦合到这些光纤中的光的强度。检测器 80a 和 80e 经由总线 53 向控制系统 20 提供与其所测量的光强对应的电信号。

使用激光器 76a 和 76e 所形成的监控光束，可用微镜面 18a、18e、26a 和 26e 引导到光纤 4a 和 4e 中的一个。检测器 70a 和 70e 分别由常规光纤耦合器 66a 和 66e 分别耦合到光纤 4a 和 4e，以检测由激光器 76a 和 76e 中的一个输出并耦合到这些光纤中的光的强度。检测器 70a 和 70e 经由总线 53 向控制系统 20 提供与其所测量的光强对应的电信号。

这样，控制系统 20 可确定监控光束在其穿过光开关 2 期间的衰减。这种衰减的测量被用在下面所讨论的重校准方法中。

激光器 68a、68e、76a 和 76e 例如是能够在约 1310 nm 或约 1550 nm 的波长处工作的常规半导体激光二极管。检测器 70a、70e、72a、72e、78a、78e、80a 和 80e 例如是能够检测激光器 68a、68e、76a 和 76e 所输出的光的常规 InGaAs 光电二极管。

可以不用光束 16a-16e 就测量并控制镜面 18a-18e 的方向。例如参考图 5，在一个实施例中，激光器 82 所输出的具有约 660 nm 的波长的、约 300 毫瓦 (mW) 的光，被透镜组 84 准直来形成光束 86，并被常规的高反射镜 88 反射到二色分光器 24 上。其他实施例可以使用例如在诸如 810 nm 的其他非电信波长处工作的激光器。通常，选择激光器的输出功率来提供足够的信噪比，以用于下述使用位置感应检测器的测量。光束 86 的大约 50% 被二色分光器 24 透射为光束 86a，光束 86a 以足以照亮所有微镜面 18a-18e 的束宽入射到镜面阵列 18 上。下面参考图 6 来描述被二色分光器 24 所反射的大约 50% 的光束 86 的路径。激光器 82 例如是常规激光二极管。合适的激光二极管可从例如纽约 Binghamton 的 Semiconductor Laser International 公司和加利福尼亚 San Jose 的 SDL 公司得到。透镜组 84 具有例如约 80 到约 100 毫米的焦距。

微镜面 18a-18e (图 5) 将光束 86a 的部分反射来形成入射到二色分光器 42 上的 N 个控制光束 90a-90e。二色分光器 42 将光束 90a-90e 反射到常规分光器 92, 常规分光器 92 将光束 90a-90e 中每个的约 50% 反射到透镜组 94。透镜组 94 将光束 90a-90e 聚焦到小孔板 96 的 N 个小孔 96a-96e 上。小孔板 96 例如是由金属片形成的, 并厚约 0.3 mm。例如是直径约 0.5 mm 的圆形的小孔 96a-96e, 被排列成对应于微镜面 18a-18e 的图案, 例如间距约 1 mm 的矩形阵列。光束 90a-90e 穿过去掉其衍射边缘的小孔 96a-96e, 并入射到包括在位于小孔板 96 之后的位置感应检测器阵列 98 中的 N 个相应的位置感应检测器 98a-98e 上。位置感应检测器 98a-98e 被排列成对应于微镜面 18a-18e 的图案, 例如间距约 1 mm 的矩形阵列。

位置感应检测器阵列 98 例如是粘接到玻璃晶片的象限单元光电二极管 (quadrant cell photodiode) 的二维阵列。在一种实现中, 通过在粘接到玻璃晶片之后锯或切割该阵列, 来将这些单元彼此电绝缘。合适的象限单元光电二极管阵列可从例如加利福尼亚 Hawthorne 的 UDT Sensors 公司和加利福尼亚 Westlake Village 的 Pacific Silicon Sensor 公司得到。

透镜组 94 是常规的透镜组, 其被选择成具有大体与镜面阵列 18 的表面 19 重合的倾斜物平面, 以及大体与小孔板 96 重合的倾斜像平面。透镜组 94 以约 1:1 的放大倍数将微镜面 18a-18e 成像到小孔阵列 96 上。微镜面 18a-18e (特别是其质心) 在小孔阵列 96 处的像是不动的, 即当微镜面 18a-18e 相对于表面 19 有角位移 (倾斜) 时它们的像基本不动。这些像在小孔板 96 处不动, 是因为从透镜组 94 的物平面中的一点产生并穿过透镜组 94 的所有光线, 被近似聚焦到像平面中的对应点。因此, 微镜面 18a-18e 的角位移, 在不改变微镜面 18a-18e 在小孔板 96 处成像的位置的情况下, 改变了光束 90a-90e 穿过透镜组 94 所走的路径。但是, 因为位置感应检测器阵列 98 位于透镜组 94 的像平面之后, 当相应的微镜面有角位移时, 微镜面 18a-18e 在检测器阵列 98 上的像在阵列 98 的平面中发生位移。因此, 微镜面 18a-18e 的方向可从分别由位置感应检测器 98a-98e 所测量的光束 90a-90e 的位置来确定。位置感应检测器 98a-98e 经由总线 53 向控制系统 20 提供指示光束 90a-90e 的位置的电信号。

随着位置感应检测器阵列 98 和透镜组 94 的像平面之间的间隔的增大，由于微镜面 18a-18e 的角位移而产生的光束 90a-90e 在检测器 98a-98e 上的线位移也增大。这样，微镜面 18a-18e 方向的测量范围，可通过改变检测器阵列 98 相对于小孔板 96 的位置来改变。在一种实现中，检测器阵列 98 平行于透镜组 94 的像平面（或小孔板 96）并在其之后约 0.5 mm 到约 1 mm，并且光束 90a-90e 在检测器 98a-98e 处具有约 0.5 mm 的光束点直径。检测器 98a-98e 每个都约 1 mm 见方。在此实现中，相对于检测器 98a-98e 中心约 ± 0.25 mm（不将光束点移出检测器的最大值）的线位移，对应于光束 90a-90e 约 $\pm 20^\circ$ 的角位移以及微镜面 18a-18e 约 $\pm 10^\circ$ 的角位移。如果按通常地检测器 98a-98e 的动态范围（由入射光功率确定）是 12 位，那么原则上可以用约 0.01° （ $40^\circ / 4096$ ）的精度来确定光束 90a-90e 的方向。但这样的角度精度要求检测器 98a-98e 分辨约 0.12 微米的线位移。实际中，通常以约 0.08° 的精度来确定光束 90a-90e 的方向，由此得到约 9 位的准确度。因此，由检测器 98a-98e 提供的电信号允许控制系统 20 以约 0.04° （约 9 位的准确度）的精度来控制微镜面 18a-18e 的方向。

应注意到可以约 0.04° 的精度来测量和控制微镜面 18a-18e 的方向，而不用镜面 88、二色分光器 42 和分光器 92，这些是用来为光束 86a 和 90a-90e 提供合适的光路的。

可以类似地不用光束 16a-16e 就测量和控制镜面 26a-26e 的方向。例如参考图 6，在一个实施例中，如上所述参考图 5 形成的光束 86 的大约 50%，被二色分光器 24 反射到常规的高反射镜 99，高反射镜 99 将其反射回二色分光器 24。被镜面 99 反射到二色分光器 24 上的大约 50% 的光，被折式分光器 24 透射为入射到镜面阵列 26 上的光束 86b。

微镜面 26a-26e 反射光束 86b 的部分，来形成入射到二色分光器 54 上的 N 个控制光束 100a-100e。二色分光器 54 将光束 100a-100e 反射到常规的分光器 102，分光器 102 将光束 100a-100e 中每个的约 25% 反射到透镜组 104。透镜组 104 将光束 100a-100e 聚焦到小孔板 106 的 N 个小孔 106a-106e。小孔板 106 例如与小孔板 96 基本相同。光束 100a-100e 穿过去掉其衍射边缘的小孔 106a-106e，并入射到在位于小孔板 106 之后的位置感应

检测器阵列 108 中的 N 个相应的位置感应检测器 108a-108e 上。位置感应检测器阵列 108 例如与位置感应检测器阵列 98 基本相同，并可从相同来源得到。位置感应检测器 108a-108e 被排列成对应于微镜面 26a-26e 图案的图案，例如间距约 1 mm 的矩形阵列。

5 透镜组 104 是常规的透镜组，其被选择成具有大体与镜面阵列 26 的表面 28 重合的倾斜物平面，以及大体与小孔板 106 重合的倾斜像平面。透镜组 104 以约 1:1 的放大倍数将微镜面 26a-26e 成像到小孔板 106 上。透镜组 104 例如与透镜组 94 基本相同。当微镜面 26a-26e 相对于表面 28 有角位移（倾斜）时，微镜面 26a-26e（特别是其质心）在小孔阵列 106 处
10 的像不动。但是，当相应的微镜面有角位移时，微镜面 26a-26e 在检测器阵列 108 上的像在阵列 108 的平面中发生位移。因此，微镜面 26a-26e 的方向可从分别由位置感应检测器 108a-108e 所测量的光束 100a-100e 的位置来确定。位置感应检测器 108a-108e 经由总线 53 向控制系统 20 提供指示光束 100a-100e 的位置的电信号。

15 微镜面 26a-26e 方向的测量范围类似于微镜面 18a-18e 方向的测量范围来确定。具体而言，因为随着位置感应检测器阵列 108 和透镜组 104 的像平面（或小孔板 106）之间的间隔的增大，由于微镜面 26a-26e 的角位移而产生的光束 100a-100e 在检测器 108a-108e 上的线位移也增大，所以可通过改变检测器阵列 108 相对于小孔板 106 的位置来改变微镜面 26a-26e 方
20 向的测量范围。在一种实现中，检测器阵列 108 平行于小孔板 106 并在其之后约 0.5 mm 到约 1 mm，并且光束 100a-100e 在检测器 108a-108e 处具有约 0.5 mm 的光束点直径，检测器 108a-108e 每个都约 1 mm 见方。在此实现中，相对于检测器 108a-108e 中心约 ± 0.25 mm 的线位移，对应于光束 100a-100e 约 $\pm 20^\circ$ 的角位移以及微镜面 26a-26e 约 $\pm 10^\circ$ 的角位移。如
25 果检测器 108a-108e 具有 12 位的动态范围，那么原则上可以用约 0.01° 的精度来确定光束 100a-100e 的方向。实际中，通常以约 0.08° 的精度来确定光束 100a-100e 的方向，由此得到约 9 位的准确度。因此，由检测器 108a-108e 提供的电信号允许控制系统 20 以约 0.04° （约 9 位的准确度）的精度来控制微镜面 26a-26e 的方向。

应注意到可以约 0.04° 的精度来测量和控制微镜面 26a-26e 的方向，而不用镜面 88、镜面 99、二色分光器 54 和分光器 102，这些是用来为光束 86b 和 100a-100e 提供合适的光路的。

5 由位置感应检测器 98a-98e 和 108a-108e 提供的电信号还允许控制系统 20 检测出现故障的微镜面。

微镜面 18a-18e 和 26a-26e 的角位移也可用 N 个控制光束（不同于光束 16a-16e）来测量和控制，这些控制光束中的每个都从微镜面 18a-18e 中的一个和微镜面 26a-26e 中的一个被反射。例如参考图 7，在一个实施例中，激光器 110 所输出的具有约 660 nm 的波长的、约 30 mW 的光，被常规透镜组 112 准直来形成入射到小透镜阵列 116 上的光束 114。激光器 10 110 例如是与激光器 82 相似或相同的常规激光二极管。透镜组 112 具有例如约 80 毫米到约 100 毫米的焦距。

小透镜阵列 116 所包括的 N 个小透镜 116a-116e，被排列成对应于微镜面 26a-26e 图案的图案，例如间距约 1 mm 的矩形阵列。例如，具有约 15 100 mm 焦距的小透镜 116a-116e，从光束 114 的部分形成 N 个相应的基本平行或弱聚焦的控制光束 114a-114e，并将其聚焦成例如分别在小孔板 118 的小孔 118a-118e 处约 0.16 mm 的直径。小孔板 118 例如由金属片形成，并厚约 0.3 mm。例如，是直径约 0.5 mm 的圆形的小孔 118a-118e，被排列成与小透镜 116a-116e 图案相匹配的图案。

20 光束 114a-114e 穿过将其空间滤波的小孔 118a-118e，而分别入射到小透镜阵列 120 的 N 个小透镜 120a-120e 上并被其重新准直。小透镜 120a-120e 被排列成与小透镜 116a-116e 图案相匹配的图案，并具有例如约 77 mm 的焦距。小透镜阵列 116 和 120 例如类似于小透镜阵列 14、34、50 和 62，并可从相同来源得到。

25 常规的 90° 棱镜 122 将光束 114a-114e 反射到常规的分光器立方体 102，分光器立方体 102 将光束 114a-114e 中每个的约 75%透射到二色分光器 54。二色分光器 54 将光束 114a-114e 分别反射到镜面阵列 26 的微镜面 26a-26e。在二色分光器 54 和镜面阵列 26 之间，光束 114a-114e 与光束 16a-16e（图 3）基本平行。

如果微镜面 26a-26e 被近似地定向，来如上所述地将输入光纤 4a-4e 所承载的光引导到输出光纤 6a-6e，那么微镜面 26a-26e 就经由二色分光器 24 将光束 114a-114e 反射到微镜面 18a-18e。应注意到，虽然图 7 示出了光束 114a-114e 被分别引导到微镜面 18a-18e，但光束 114a-114e 中的每个都可被引导到微镜面 18a-18e 中的任一个。

如果微镜面 18a-18e 被近似地定向，来将输入光纤 4a-4e 所承载的光引导到输出光纤 6a-6e，那么微镜面 18a-18e 就将入射到其上的光束 114a-114e 中无论哪一个，作为与光束 16a-16e（图 3）基本平行的基本平行或弱聚焦光束，而从镜面阵列 26 反射到二色分光器 42。二色分光器 42 将光束 114a-114e 反射到常规的分光器立方体 92，分光器立方体 92 将光束 114a-114e 中每个的约 50%透射到常规的 90° 棱镜 124。棱镜 124 将光束 114a-114e 反射到常规的分光器立方体 126，分光器立方体 126 将光束 114a-114e 中每个的约 50%反射到常规的 90° 棱镜 128。棱镜 128 将光束 114a-114e 反射到小透镜阵列 130 上，小透镜阵列 130 所包括的 N 个小透镜 130a-130e 被排列成对应于微镜面 18a-18e 图案的图案，例如间距约 1 mm 的矩形阵列。小透镜阵列 130 例如类似于上述小透镜阵列，并可从相同来源得到。

小透镜 130a-130e 将光束 114a-114e 中分别被微镜面 18a-18e 反射的特定光束，分别聚焦到位置感应检测器阵列 134 中的位置感应检测器 134a-134e 上，位置感应检测器阵列 134 大体位于小透镜阵列 130 的焦平面处。位置感应检测器阵列 134 例如与位置感应检测器阵列 98 和 108 相似或相同，并可从相同来源得到。位置感应检测器 134a-134e 被排列成对应于微镜面 18a-18e 图案的图案，例如间距约 1 mm 的矩形阵列。

当镜面阵列 18 和 26 中反射光束 114a-114e 的微镜面有角位移时，光束 114a-114e 在检测器阵列 134 的平面中有线位移。光束 114a-114e 中特定光束的线位移量约等于，将该光束聚焦到检测器阵列 134 之上的小透镜的焦距与该光束角位移的正切的乘积。这样，如果反射光束的微镜面中只有一个有角位移，那么可从该光束在检测器阵列 134 上的线位移来确定该微镜面的角位移。位置感应检测器 134a-134e 经由总线 53 向控制系统 20 提

供指示光束 114a-114e 位置的电信号。

光束 114a-114e 角位移的测量范围由光束在检测器 134a-134e 处的直径、检测器 134a-134e 的尺寸和小透镜 130a-130e 的焦距来确定。例如在一种实现中，小透镜具有 100 mm 的焦距，光束在检测器阵列 134 处具有约 5 0.5 mm 的光束点直径，并且检测器 134a-134e 约 1 mm 见方。在此实现中，相对于检测器中心约 ± 0.25 mm（不将光束点移出检测器的最大值）的线位移，对应于光束 114a-114e 约 $\pm 0.15^\circ$ 的角位移。如果检测器 134a-134e 具有 5 位的动态范围，这是容易达到的，那么可以用约 0.01° （5 位的准确度）的精度来确定光束 114a-114e 的角位移。因此，可以使用由检测器 134a-134e 以约 0.005° 的精度所作的测量，来控制微镜面 18a-18e 和 26a-26e 的方向。这样的角度精度要求检测器 134a-134e 分辨约 17 微米的线位移。从而控制系统 20 可以用约 12 位的准确度控制微镜面 18a-18e 和 26a-26e 的方向，因为检测器 98a-98e 和 108a-108e 允许在约 20° 的范围内来控制微镜面，而检测器 134a-134e 允许以约 0.005° 的精度来控制微镜
15 面。

应该注意到，可以以约 0.005° 的精度来测量和控制微镜面 18a-18e 和 26a-26e 的角位移，而不用棱镜 122、分光器 102、分光器 92、棱镜 124、分光器 126 和棱镜 128，这些是用来为光束 114a-114e 提供合适的光路的。

当控制光束入射到位置感应检测器上时，由该检测器向控制系统 20 提供的电信号可即时变化（漂移），即使控制光束入射到该检测器上的位置不改变，即控制光束不移动。这样，由位置感应检测器提供的电信号，可指示控制光束（以及反射其的微镜面）的明显运动，即使未发生这样的运动，并由此在对这些微镜面的方向的测量和控制中引入了误差。这种检测器漂移可由例如检测器上的时变温度梯度导致，这种梯度在检测器响应
25 中产生时变空间梯度。

这种漂移的影响可通过使用多个参考束来减小，这些参考束中的每个都入射到位置感应检测器中对应的一个的近似中心上。如果控制光束和参考光束是按时选通（脉冲）的并在时间上是交替的，那么位置感应检测器就可提供分开的电信号，这些电信号指示出参考和控制光束入射到检测器

上的位置。因为由位置感应检测器响应于控制和参考光束而提供的电信号相似地漂移，所以通过从响应于控制束而提供的信号中减去响应于参考束而提供的信号而生成的差信号，可以基本上没有漂移。

于是，可用参考束来减小检测器漂移对微镜面 18a-18e 和 26a-26e 的测量和控制的影响。例如参考图 8，在一个实施例中，常规激光器 136 所输出的具有约 660 nm 的波长的、约 30 mW 的光，被常规透镜组 138 准直来形成入射到常规分光器立方体 126 上的光束 140。激光器 136 例如与激光器 82 和 110 相似或相同，并可从相同来源得到。

光束 140 的约 50% 被分光器 126 作为光束 141 透射到常规的 90° 棱镜 124，棱镜 124 将光束 141 反射到常规的分光器立方体 92。分光器立方体 92 将光束 141 的约 50% 反射到常规的高反射镜 144，高反射镜 144 将其通过分光器 92 作为光束 146 回射到透镜组 94。镜面 144 例如是分光器 92 的表面上的常规高反射金属或者电介质涂层。

透镜组 94 将光束 146 引导到小孔阵列 96 之上。上面参考图 5 已描述了透镜组 94 和小孔阵列 96。小孔阵列 96 的小孔 96a-96e 分别形成了 N 个参考光束 146a-146e，其具有约 0.5 mm 的光束点直径，并分别入射到位置感应检测器阵列 98 的位置感应检测器 98a-98e 的近似中心上。位置感应检测器 98a-98e 经由总线 53 向控制系统 20 提供指示参考光束 146a-146e（物理上不动的）位置的电信号。

参考图 9，在一个实施例中，常规的分光器 126 将（如上参考图 8 所述形成的）光束 140 的约 50% 反射到常规的高反射镜 142，高反射镜 142 将其通过分光器 126 回射为入射到常规的 90° 棱镜 128 上的光束 148。镜面 142 例如是分光器 126 的表面上的常规高反射金属或者电介质涂层。如上参考图 7 所述的，棱镜 128 将光束 148 反射到透镜阵列 130。小透镜 130a-130e 分别形成了 N 个参考束 148a-148e，并将其分别聚焦到位置感应检测器 134a-134e 的近似中心上。参考束 148a-148e 在检测器 134a-134e 处具有例如约 0.5 mm 的光束点直径。位置感应检测器 134a-134e 经由总线 53 向控制系统 20 提供指示参考光束 148a-148e（物理上不动的）位置的电信号。

参考图 10, 在一个实施例中, 常规的分光器 102 将如上参考图 7 所述形成的光束 114a-114e 的约 25%, 反射到常规的高反射镜 149。镜面 149 例如是分光器 102 的表面上的常规高反射金属或者电介质涂层。镜面 149 将入射到其上的光束 114a-114e 的部分作为参考光束 150a-150e 通过分光器 5 102 回射到常规透镜组 104。透镜组 104 将参考光束 150a-150e 分别引导到小孔阵列 106 的小孔 106a-106e 上。上面已参考图 6 描述了透镜组 104 和小孔阵列 106。参考光束 150a-150e 穿过小孔 106a-106e, 并分别以例如约 0.5 mm 的光束点直径, 入射到位置感应检测器 108a-108e 的近似中心上。位置感应检测器 108a-108e 经由总线 53 向控制系统 20 提供指示参考光束 10 150a-150e (物理上不动的) 位置的电信号。

在一个实施例中, 激光器 82、110 和 136 每个都以约 10 千赫 (kHz) 的重复速度, 发射持续时间约 33 微秒 (μs) 的光脉冲。由激光器 82、110 和 136 所发射的三列光脉冲在时间上交替, 以向每个位置感应检测器提供具有约 10 kHz 重复速度的、参考束和控制束光脉冲的交替序列。因此, 位置感应检测器每个都响应于约 10 kHz 重复速度的控制和参考光束, 而提供 15 电信号的交替序列。这使得微镜面能够被控制来在小于约 10 毫秒 (ms) 内, 将通过输入光纤 4a-4e 中的一个输入并在初始时被引导到输出光纤 6a-6e 中的一个的光, 切换到输出光纤 6a-6e 中的另一个。

例如, 参考图 11 的时序图, 从其得到控制光束 90a-90e (图 5) 和 20 100a-100e (图 6) 的激光器 82, 以约 $100\mu\text{s}$ 的间隔发射第一列光脉冲。从其得到控制光束 114a-114e (图 7) 和参考光束 150a-150e (图 10) 的激光器 110, 发射第二列光脉冲, 第二列光脉冲相对于第一列光脉冲在时间上移位了约 $+33\mu\text{s}$ 。从其得到参考光束 146a-146e (图 8) 和 148a-148e (图 9) 的激光器 136, 发射第三列光脉冲, 第三列光脉冲相对于第一列脉冲在 25 时间上移位了约 $+66\mu\text{s}$ 。

在图 15 的框图中进一步解释光纤开关 2 的实施例中, 微镜面阵列 18 和 26、位置感应检测器 98、108 和 134、激光器 82、110 和 136 以及控制系统 20 之间的关系。应该注意到, 图 15 中代表光束的各条虚线并未表示出详细的光路。每个镜面阵列都有与其相关联的位置感应检测器阵列和控

制光源（例如激光器 82），这些控制光束被镜面阵列中的镜面引导到位置感应检测器，而不被其他阵列中的镜面反射。这种布置使得能够在大的角度范围（例如大于约 20° ）上粗略地（例如好于约 0.04° 的精度）控制每个镜面阵列中的镜面的方向。虽然图示实施例中的每个镜面阵列，都有与其相关联的单独的位置感应检测器阵列以用于粗略的控制，但可以使用单个位置感应检测器，来检测由镜面阵列 18 和镜面阵列 26 两者引导到该检测器的控制光束。

通过使用控制光束来实现对镜面阵列中镜面以及由光纤开关 2 所切换的光束的方向在更窄的角度范围上的更好精度的控制（例如镜面的方向精度好于约 0.005° ），这些控制光束被一个镜面阵列中的镜面引导到另一个镜面阵列上的镜面，由此而引导到位置感应检测器阵列。在结合时，用于粗略和精细控制的布置允许在大的角度范围上对镜面方向的精细控制，例如在大于约 20° 的角度范围上好于约 0.005° 的精度。

图示实施例中，在例如要从输入端口引导到输出端口的电信光束的光路中，控制光束通过位于镜面阵列之间的二色分光器 24（图 1、5 和 6）被引导到镜面阵列。镜面阵列中的镜面将控制光束经由二色分光器 42 和 54（图 1、5 和 6）引导到位置感应检测器阵列。但是在其他实施例中，控制光可经由与二色分光器 42 和 54 类似定位的二色分光器，被引导到镜面阵列。而且，镜面阵列中的镜面可将控制光束经由与二色分光器 24 类似定位的二色分光器，引导到位置感应检测器阵列。

图示实施例采样了三个激光器来作为控制和参考光源。其他实施例可采用多于或少于三个的光源来提供控制和参考光束。而且，由图示实施例中的相同光源提供的控制和参考光束，在其他实施例中可由不同光源提供。

根据本发明实施例的光纤开关，可用图 12 的流程图中概述的方法 200 来初始对准。在步骤 210 中，位置感应检测器在其安装到光纤开关中之前被校准。具有与上述控制和参考束相似的波长、强度和直径的准直光束，被引导到位置感应检测器上。检测器响应所产生的电信号和光束入射到检测器上的位置（例如用显微镜独立测量的），被记录在校准查找表中。校

准查找表存储在例如控制系统 20 中。此过程重复大约 $N \times P$ 次（其中 N 和 P 分别是微镜面阵列 18 和 26 中微镜面的数量），每次光束都入射到检测器上不同的位置。

5 应该注意到，步骤 210 中所准备的校准查找表对于基本相同的位置感应检测器阵列是基本相同的。因此，如果检测器阵列基本相同就不必为每个位置感应检测器阵列 98、108 和 134 准备单独的查找表。而且，可以从用不同于光开关 2 中所包括的那些位置感应检测器阵列所做的测量（或者用几个位置感应检测器阵列所做的平均测量），来准备校准查找表。

10 在位置感应检测器被校准之后，在步骤 220 中例如具有在电信中所使用波长的红外光，通过输入光纤 4a-4e 引入光开关 2，以形成入射到微镜面 18a-18e 上的光束 16a-16e（图 1）。接着，在步骤 230 中，对应于所期望的输入光纤 4a-4e 到输出光纤 6a-6e 的耦合，来选择开关配置。

15 在步骤 230 之后，在步骤 240 中控制系统 20 近似地对准微镜面 18a-18e，以将光束 16a-16e 引导到微镜面 26a-26e 中与所选开关配置一致的特定微镜面。控制系统 20 通过这样来完成该步骤，即通过使用校准查找表中的信息来控制微镜面 18a-18e，以将控制光束 90a-90e 引导到位置感应检测器 98a-98e 上与微镜面 18a-18e 的所需方向相对应的预定位置（图 5）。微镜面 18a-18e 将光束 16a-16e 引导到微镜面 26a-26e 中特定微镜面的所需方向，可从光开关 2 的已知几何构造计算出来。

20 接着，在步骤 250 中控制系统 20 近似地对准微镜面 26a-26e，以将光束 16a-16e 中入射到其上的任何光束分别引导到小透镜 34a-34e，并由此近似地引导到光纤末端 40a-40e（图 1）。控制系统 20 通过这样来完成该步骤，即通过使用校准查找表中的信息来控制微镜面 26a-26e，以将控制光束 100a-100e 引导到，位置感应检测器 108a-108e 上与微镜面 26a-26e 的所需方向相对应的位置（图 6）。微镜面 26a-26e 的所需方向可从光开关 2 的
25 已知几何构造和微镜面 18a-18e 的已知方向计算出来。

通常，在执行步骤 250 之后，控制光束 114a-114e 中的每个将入射到位置感应检测器 134a-134e 中相应的一个上（图 7）。但是，光束 16a-16e 可能对准得很不够，使得小透镜 34a-34e 不一定将入射到其上的光束 16a-

16e 的特定光束分别聚焦到光纤末端 40a-40e 的纤芯上。

在步骤 250 之后，在步骤 260 中控制系统 20 控制微镜面 26a-26e 或微镜面 18a-18e 以使光束 56a-56e 的强度最小，光束 56a-56e 分别被光纤末端 40a-40e 或者光纤块 38 的相邻区域反射，并被输出传感器 64 检测到（图 3）。最小强度的反射可以通过这样来找到，例如将光束 16a-16e 光栅扫描过其在步骤 250 中被近似引导到的特定光纤末端。作为此最小化过程的结果，光束 16a-16e 被聚焦到其所入射的光纤末端的纤芯上。这样，在步骤 260 之后，光束 16a-16e 每个中的至少一部分光被耦合到输出光纤 6a-6e 中各光束 16a-16e 被引导到的输出光纤 6a-6e 的特定光纤中。

接着在步骤 270 中，控制系统 20 通过改变微镜面 18a-18e 和微镜面 26a-26e 的方向而使耦合到光纤 6a-6e 中的光的强度最大，来细调光束 16a-16e 的对准。例如，可通过反复地改变微镜面 26a 的方向和微镜面 18a-18e 中反射出入射到光纤 6a 上光束的那个微镜面的方向，而最大化耦合到输出光纤 6a 中的光的强度。耦合到输出光纤中的光的强度，可用例如临时光耦合到输出光纤的常规的 InGaAs 光电二极管来测量。作为此最大化过程的结果，光束 16a-16e 近似地在反射它们的微镜面的中心上，并近似地在它们所聚焦到的输出光纤的纤芯中心上。

接着在步骤 280 中，控制系统 20 计算由位置感应检测器 98a-98e、108a-108e 和 134a-134e 响应于控制和参考光束而提供的电信号之间的差，并将其记录在对准查找表中。这些差信号代表位置感应检测器上的位置，并对应于光束 16a-16e 的优化对准。在步骤 280 之后，在步骤 290 处控制系统 20 确定是否已对输入端口到输出端口的所有可能连接，都进行了步骤 240 到 280。如果不是，则控制系统 20 返回到步骤 230。

方法 200 是根据本发明实施例的光纤开关可被初始对准和校准的几种方法中的一种。在美国专利申请序列号 No. 09/999,705 中，描述了可另外使用的或者代替方法 200 使用的其他合适的方法。

在初始对准和校准之后，控制系统 20 可用在图 13 的流程图中概述的方法 300，来操作根据本发明实施例的光开关。在步骤 310 中，控制系统 20 选择与所期望的输入光纤 4a-4e 到输出光纤 6a-6e 的耦合相对应的开关

配置。接着在步骤 320 中，控制系统 20 从对准查找表中检索出与所选开关配置的优化对准相对应的差信号（位置感应检测器上的位置）。

在步骤 320 之后，在步骤 330 中控制系统 20 对准微镜面 18a-18e，以将控制光束 90a-90e 引导到位置感应检测器 98a-98e 上与所选开关配置相对
5 应的预定位置。控制系统 20 通过这样来完成该步骤，例如通过控制微镜面 18a-18e，使得检测器 98a-98e 响应于控制和参考光束而提供的电信号之间的差，复现在步骤 320 中检索到的差信号。控制系统 20 还对准微镜面 26a-26e，以将控制光束 100a-100e 引导到位置感应检测器 108a-108e 上与
10 所选开关配置相对应的预定位置。控制系统 20 通过这样来完成该步骤，例如通过控制微镜面 26a-26e，使得检测器 108a-108e 响应于控制和参考光束而提供的电信号之间的差，复现在步骤 320 中检索到的差信号。

接着在步骤 350 中，控制系统 20 对准微镜面 18a-18e 或者微镜面 26a-26e，以将控制光束 114a-114e 引导到位置感应检测器 134a-134e 上与所选
15 开关配置相对应的预定位置。控制系统 20 通过这样来完成该步骤，例如控制微镜面 18a-18e 或者微镜面 26a-26e，使得检测器 134a-134e 响应于控制和参考光束而提供的电信号之间的差，复现在步骤 320 中检索到的差信号。控制系统 20 从步骤 350 返回到步骤 310。

方法 300 不要求在光开关 2 中存在光束 16a-16e。这样，控制系统 20
20 可确定微镜面 18a-18e 和 26a-26e 被对准，来将输入光纤 4a-4e 中特定光纤所输出的光耦合到输出光纤 6a-6e 中的特定光纤，即使这个输入光纤并未承载光。换言之，控制系统 20 可提供暗光纤确认（dark fiber confirmation）。在一个实施例中，在步骤 350 之后控制系统 20 向网络节点控制器发送信号，例如指示已建立了输入端口和输出端口之间的特定连接。此信号可在光被引入到输入端口之前发送。

25 光开关 2 中各个光学元件的相对位置可以随时间改变。这种改变可以是由于例如由温度的变化而引起的膨胀或收缩，或者由于振动。这样，有时将光开关 2 重对准和重校准可能是有益的。光开关 2 可以用在图 14 的流程图概述的重校准方法 400 来重对准和重校准。在步骤 410 中，控制系统 20 选择与所期望的监控信道 4a 和 4e 到监控信道 6a 和 6e 的耦合相对应

的开关配置（图 4）。接着在步骤 420 中，控制系统 20 执行方法 300 的步骤来建立所选择的监控信道之间的连接。

接着在步骤 430 中，控制系统 20 通过改变微镜面 18a、18e、26a 和 26e 的方向，而使监控束在其穿过光开关 2 期间的衰减最小，来细调监控光束 16a 和 16e 的对准。在步骤 430 之后，在步骤 440 中控制系统 20 计算并存储由位置感应检测器 98a、98e、108a、108e、134a 和 134e 响应于控制和参考束而提供的电信号之间的差。这些差信号代表位置感应检测器上的位置，并对应于监控光束 16a 和 16e 的重优化的对准。

接着在步骤 450 中，控制系统 20 确定是否已对所有监控信道的耦合连接，都进行了步骤 420 到 440。如果不是，则控制系统 20 返回到步骤 410。

如果已对所有监控信道连接都进行了步骤 420 到 440，那么在步骤 460 中控制系统 20 就确定以下两者之间的系统漂移：在步骤 440 处存储的差信号；以及在光开关的初始对准和校准（例如出厂校准）期间存储在对准查找表中的相应差信号。接着在步骤 470 中，控制系统 20 从在步骤 460 中所确定的漂移，来计算对在光开关的初始对准和校准期间所存储的所有差信号的校正项。控制系统 20 在执行方法 300 时所使用的差信号，是这些校正项与在光开关的初始对准和校准期间所存储的差信号的组合。接着在步骤 480 中，控制系统 20 将校正项存储在对准查找表中。

在美国专利申请序列号 No. 09/999,705 中，描述了方法 400 的变化以及更详细的实现。

根据本发明实施例的光纤开关 2，通常以小于约 3 分贝的插入损耗来工作。换言之，由输入光纤 4a-4e 中的一个所承载的光信号的功率，在穿过光纤开关 2 进入输出光纤 6a-6e 中一个光纤的期间，通常衰减了小于约 3 分贝。这样低的插入损耗部分是因为，可以在不对输入光纤所承载的光进行采样的情况下，测量并控制微镜面 18a-18e 和 26a-26e 的方向。此外，光束 16a-16e 的对准的控制精度，使得光束有效地耦合到输出光纤中。而且，光纤开关 2 在物理上可以是紧凑的。因此，光束 16a-16e 穿过光纤开关 2 的光路长度通常小于约 360 mm。因此，光束 16a-16e 的直径一直较

小，于是由于衍射的损耗就较低。

虽然用具体实施例解释了本发明，但本发明意于包括落在所附权利要求的技术构思之内的所有变化和修改方案。

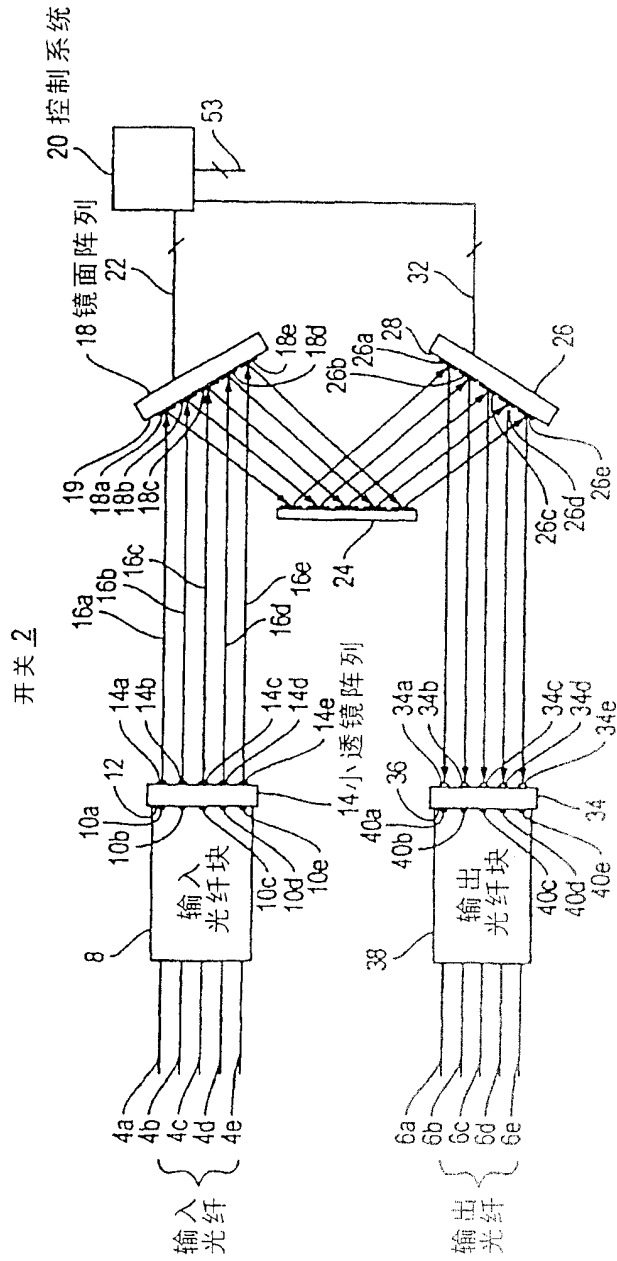


图 1

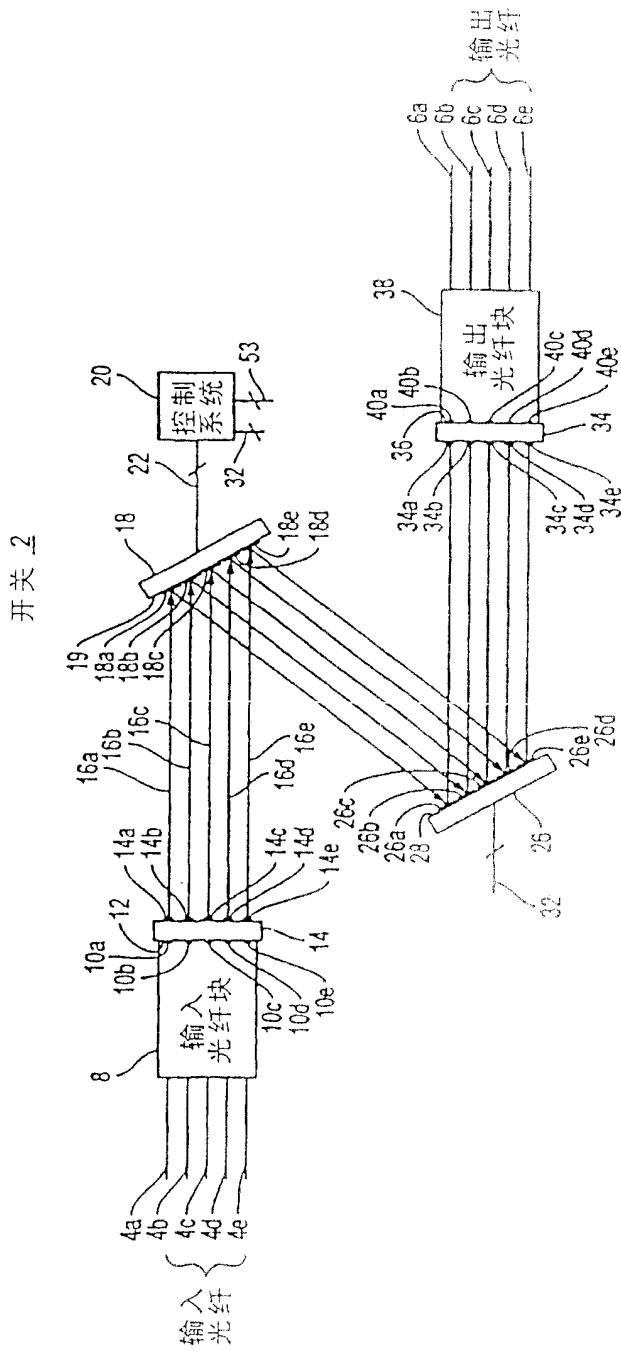
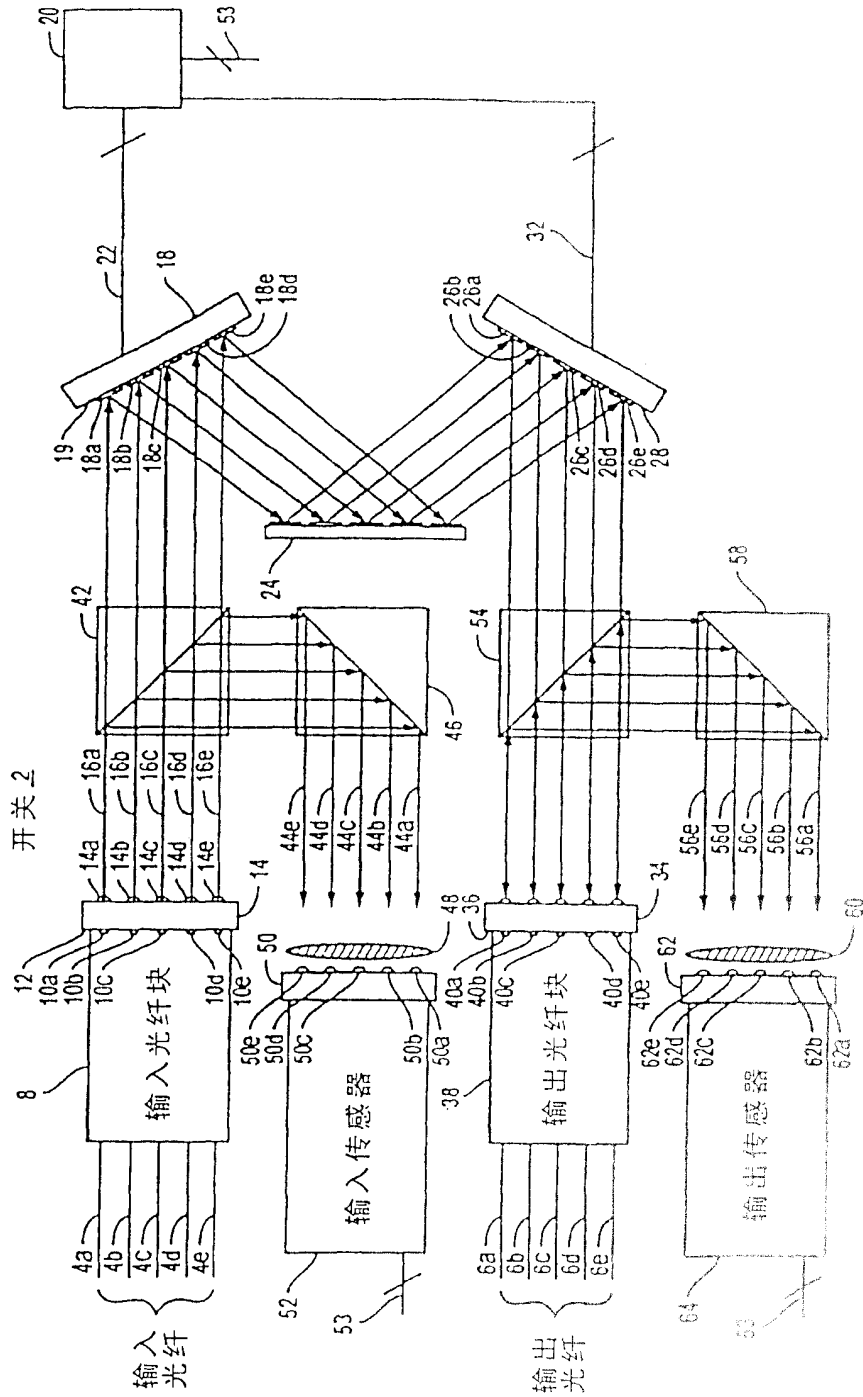


图2



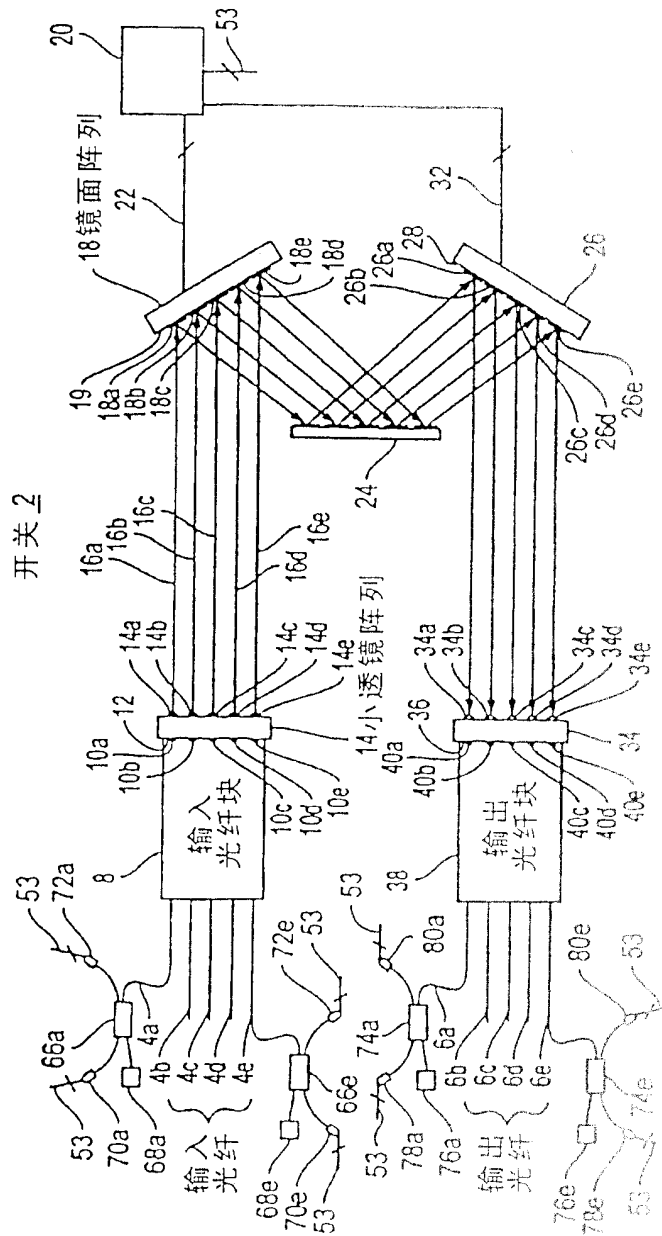


图4

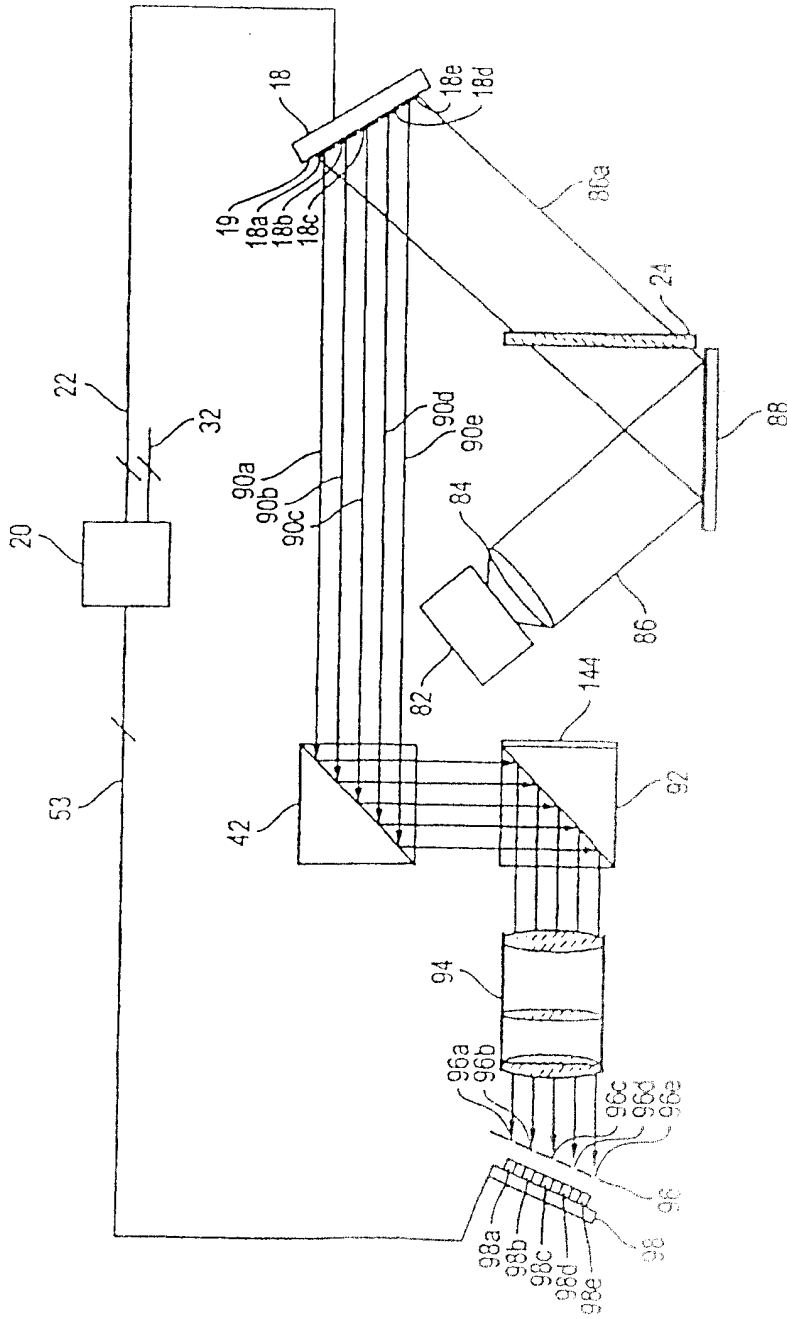
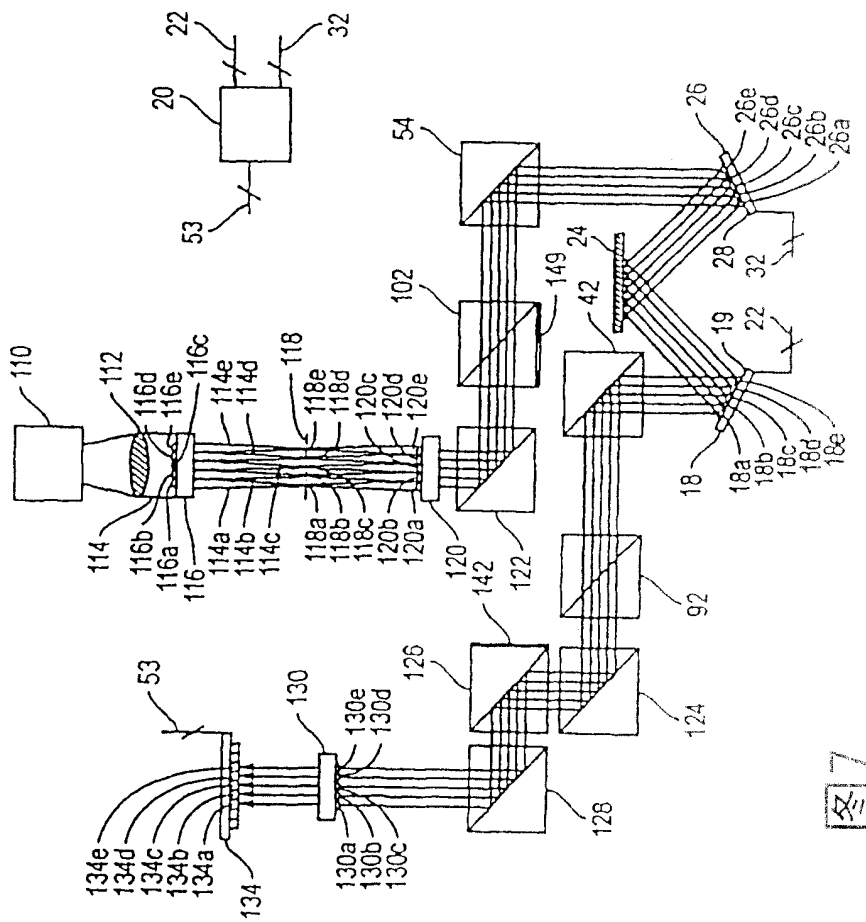


图5



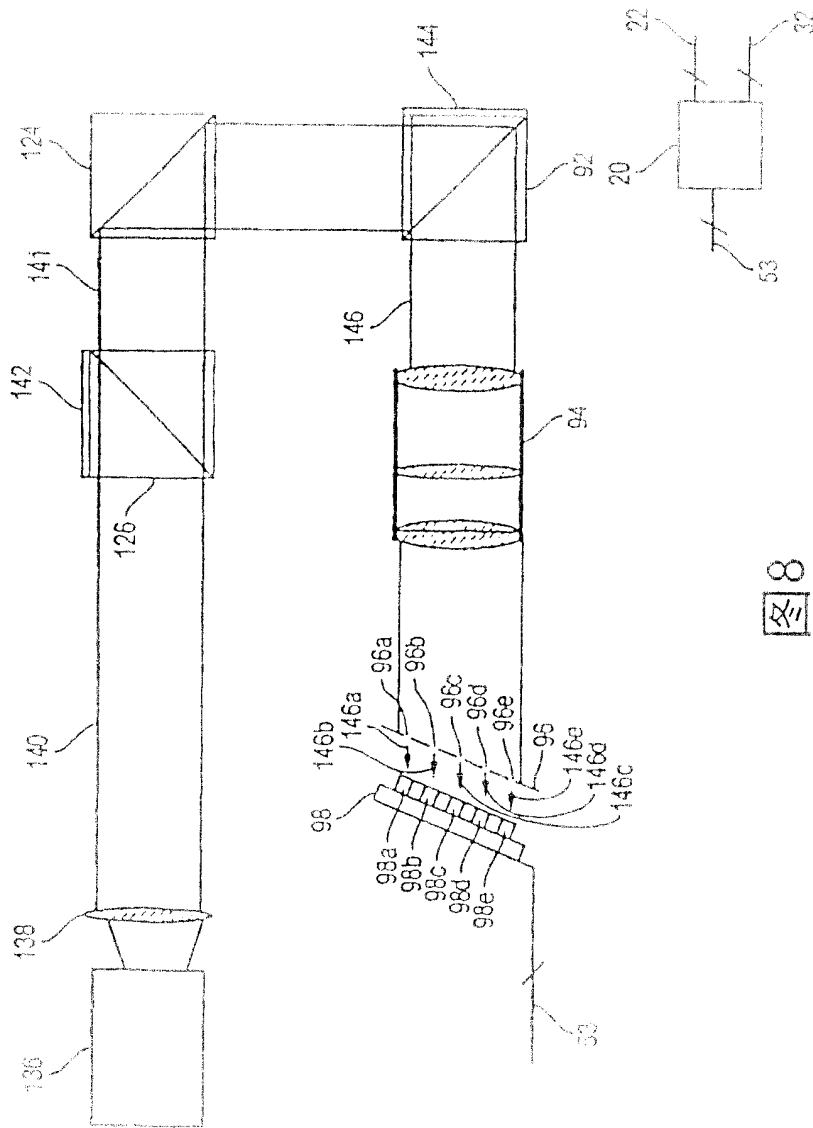
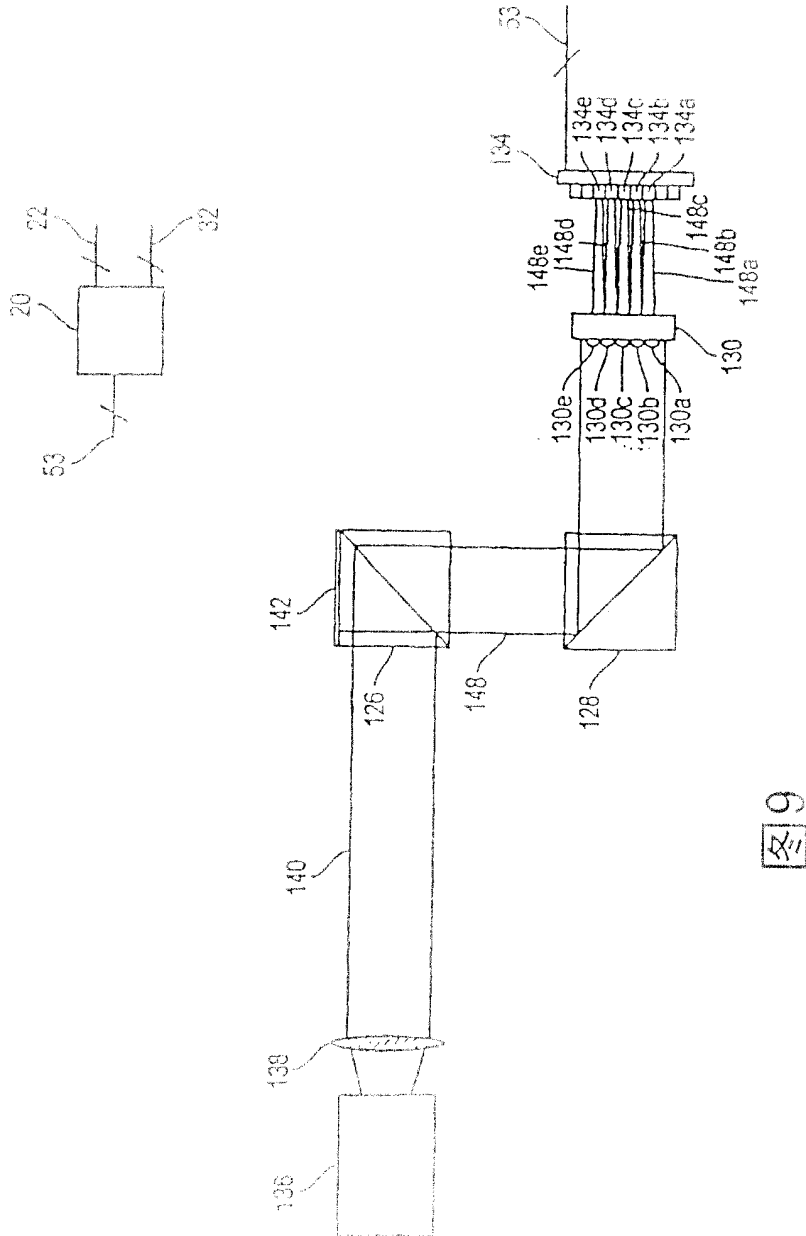


图 8



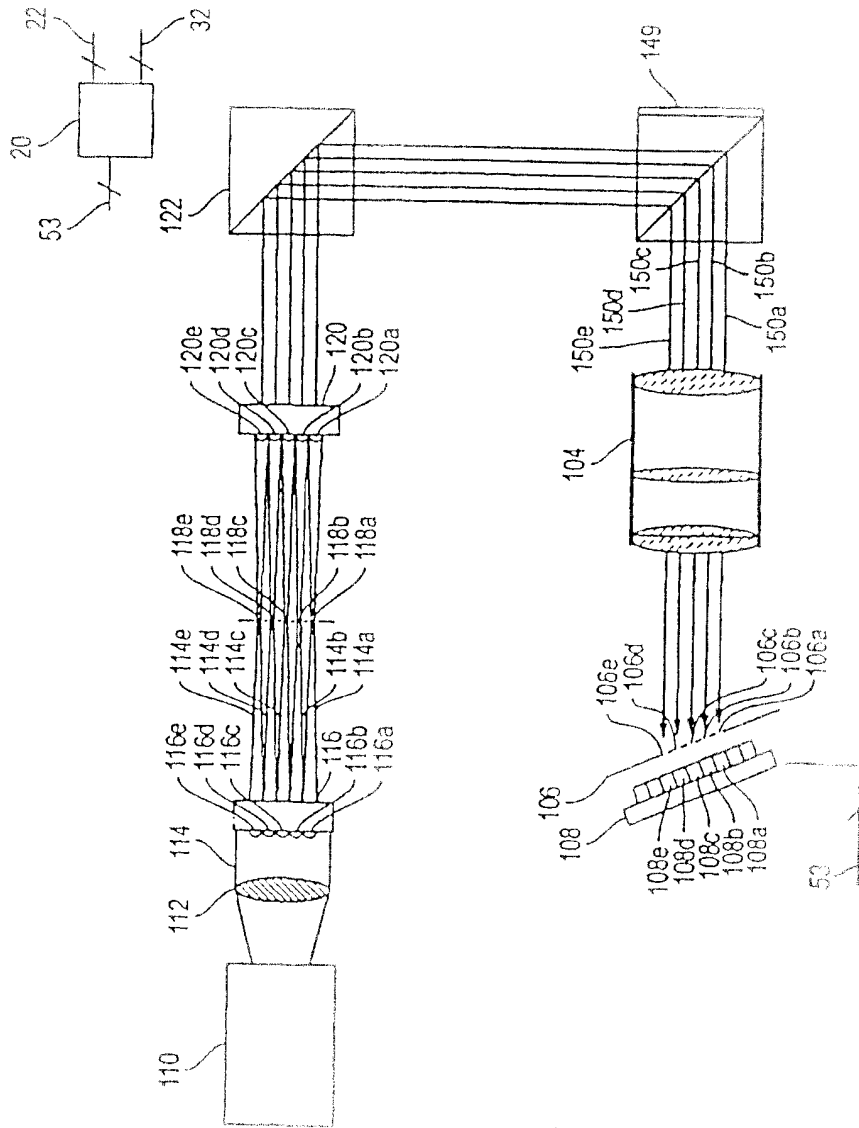


图10

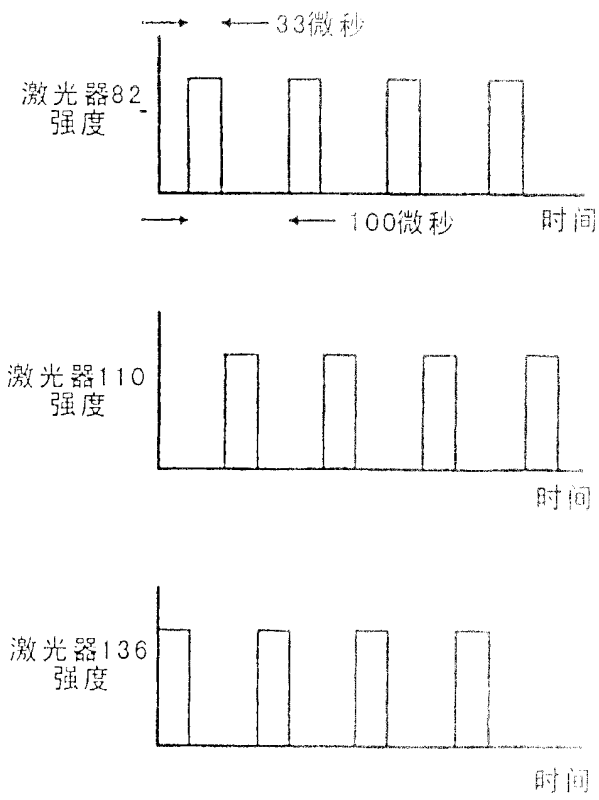


图 11

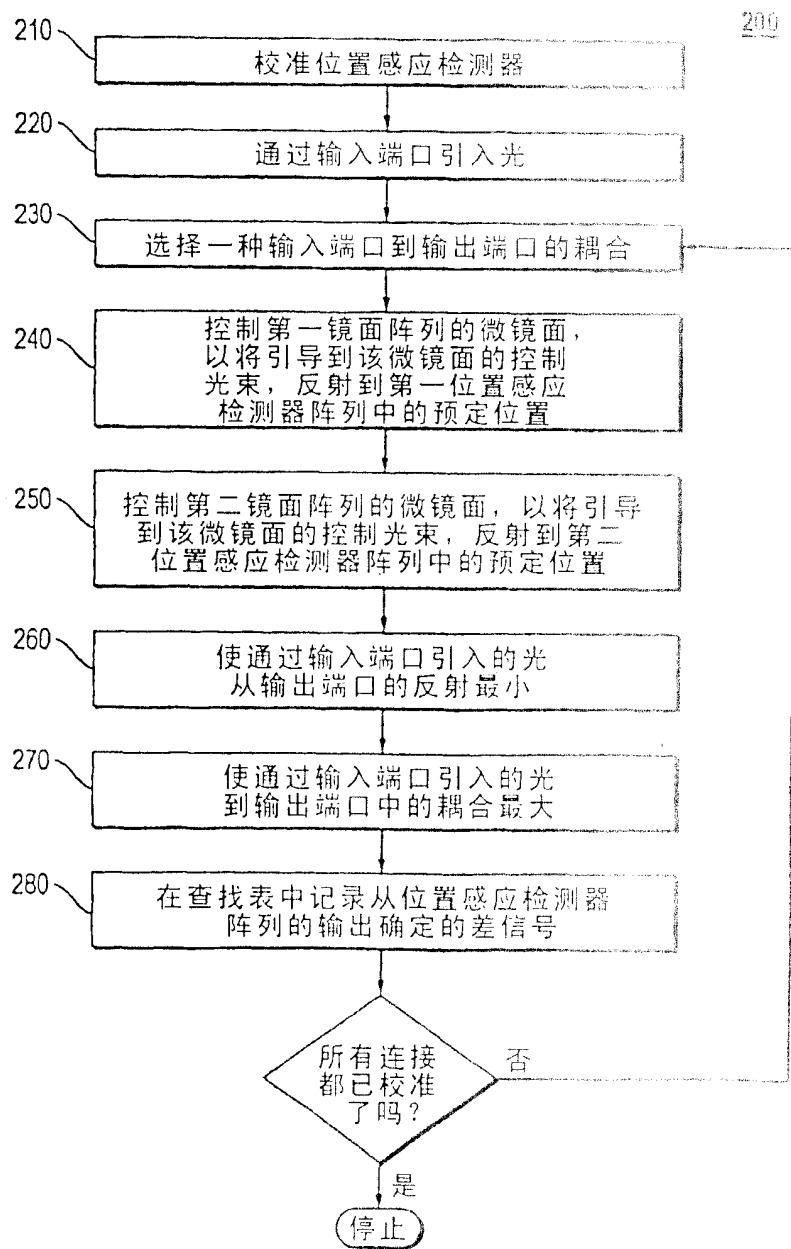


图12

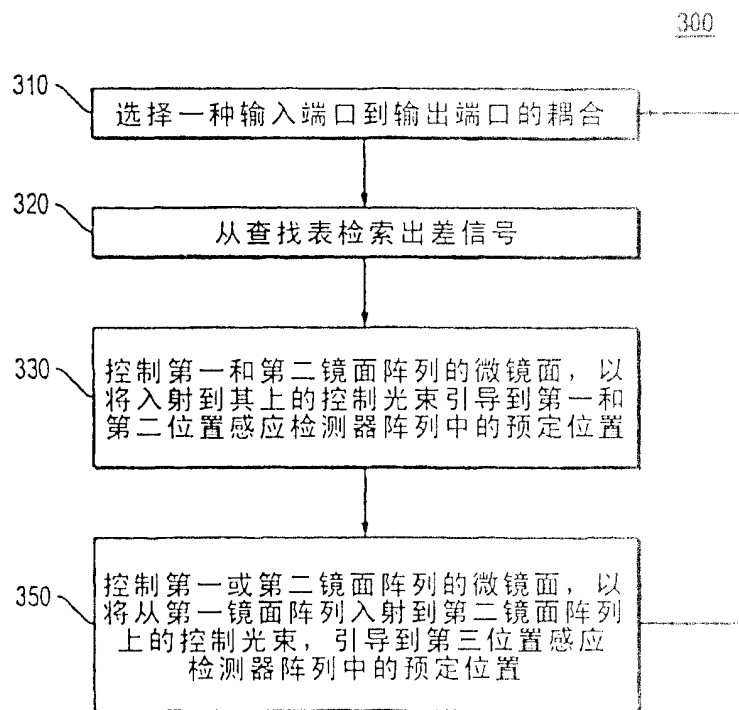


图13

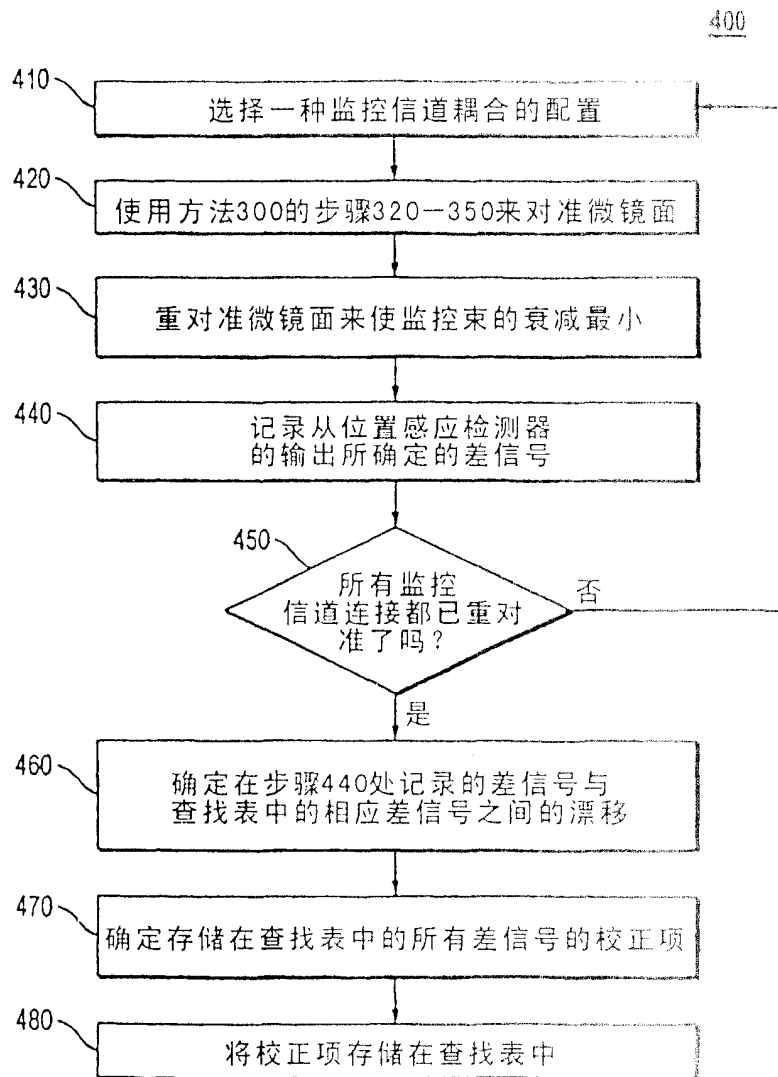


图14

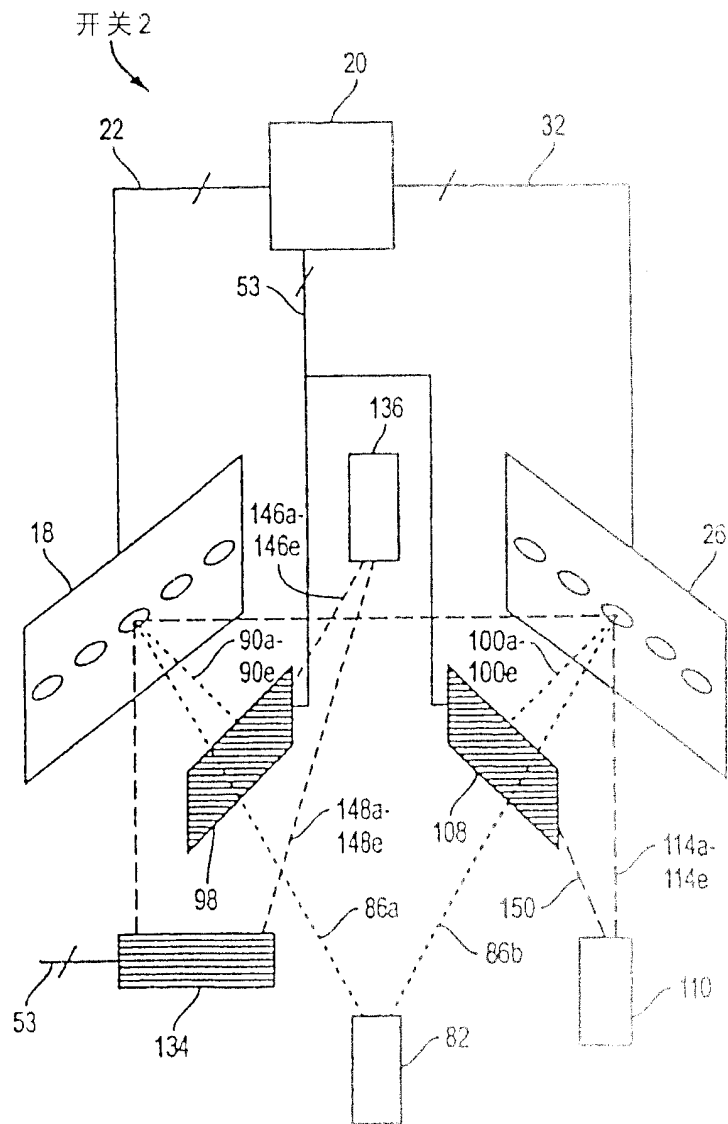


图 15