[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl[7]
G02B 27/00
G02B 5/04 G02B 6/26

[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 98800109.8

[45] 授权公告日 2004 年 4 月 21 日

[11] 授权公告号 CN 1146741C

[22] 申请日 1998.1.8 [21] 申请号 98800109.8
[30] 优先权
[32] 1997. 2. 7 [33] US [31] 08/796,842
[86] 国际申请 PCT/US1998/000432 1998.1.8
[87] 国际公布 WO98/35259 英 1998.8.13
[85] 进入国家阶段日期 1998.10.7
[71] 专利权人 富士通株式会社
地址 日本神奈川县
[72] 发明人 白崎正孝
审查员 曾 楠

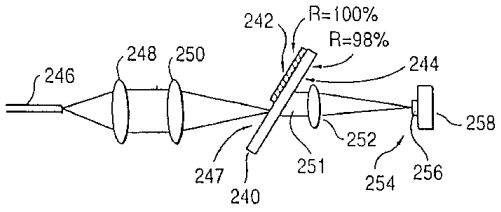
[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事务所
代理人 马 浩

权利要求书 12 页 说明书 21 页 附图 15 页

[54] 发明名称 用成虚象的相控阵列产生色散的光学装置

[57] 摘要

一种对于光添加“相反色散”的装置，用于补偿光在光纤中传播而引起的色散。该装置包括一成虚象的相控阵列(VIPA)，和一光返回器件。该光返回器件通常是反射镜。VIPA 对于光提供角色散，而光返回器件将光返回到 VIPA，以使其在 VIPA 内经受多次反射。



ISSN1008-4274

1. 一种用虚象的相控阵列产生色散的光学装置，包括：

一成虚象的相控阵列发生器，它包括相互分离开的第一和第二反射表面，使其接收相应波长的输入光并产生一离开成虚象的相控阵列发生器传播出去的相应输出光，且该输出光是按照输入光波长可空间区分的；以及

一使输出光返回成虚象的相控阵列发生器的光返回器件。

2. 如权利要求 1 的光学装置，其中光返回器件包括：

一反射镜；和

一透镜，它将输出光聚焦在该反射镜上，以使该反射镜反射该输出光，并由该透镜把反射光引回到该成虚象的相控阵列发生器。

3. 如权利要求 1 的光学装置，其中

该成虚象的相控阵列发生器产生多个有输入光波长的输出光，且它们都有不相同的干涉级，以及

该光返回器件将有相应干涉级的输出光返回到成虚象的相控阵列发生器，而不将有任何其它干涉级的输出光返回到成虚象的相控阵列发生器 。

4. 一种用虚象的相控阵列产生色散的光学装置，包括：

一角色散组件，它有一将光收入其内并从中输出光的通道区，该角色散组件通过该通道区接受连续波长范围内相应波长的输入光，并使输入光发生多次反射以产生自干涉，形成角色散组件的输出光，而且该输出光在空间上可以与连续波长范围内任何其它波长的输入光所形成的输出光相区分；以及

一使输出光返回角色散组件的光返回器件，以使其在角色散组件中经受多次反射然后通过通道区从角色散组件中输出。

5. 如权利要求 4 的光学装置，其中返回的输出光按照与从角色散组件传输到光返回器件的输出光严格相反的方向，从该光返回器件传输到角色散组件。

6. 如权利要求 4 的光学装置，其中光返回器件包括：

一反射镜；和

一把角色散组件形成的输出光聚焦在反射镜上的透镜，

反射镜将聚焦的输出光反射回透镜，而且该透镜准直返回到角色散组件的被反射输出光，以使被反射的输出光在角色散组件中经受多次反射。

7. 如权利要求 4 的光学装置，其中

该角色散组件引起输入光多次反射而产生自干涉，这会在输入波长上形成多个输出光，且其都有不同的干涉级，而且

该光返回器件将一个输出光返回到角色散组件，而不将其它输出光返回到角色散组件。

8. 如权利要求 7 的光学装置，其中光返回器件包括:

一反射镜；和

一透镜，它将上述的一个输出光聚焦到该反射镜上而不使其它输出光聚焦在该反射镜上，致使反射镜将上述的一个输出光反射回该透镜，并由该透镜对被反射回角色散组件的上述一个输出光进行准直，以使其在角色散组件中经受多次反射。

9. 如权利要求 8 的光学装置，其中反射镜的大小可以让反射镜反射上述的一个输出光而不反射上述的其它输出光。

10. 如权利要求 4 的光学装置，其中

输入光是包含多个通道的波分复用光，其每个通道都有一中心波长和围绕该中心波长的一波长范围，

对于每个通道的每个波长来说，角色散组件引起能产生自干涉的多次反射，并形成一个在空间上可与同一通道中任何其它波长所形成的输出光区分的输出光，而且

该光返回器件将该输出光返回到角色散组件，以使返回的输出光在角色散组件中经受多次反射。

11. 如权利要求 10 的光学装置，其中光返回器件包括

一反射镜；及

一透镜，它将角色散组件形成的输出光聚焦在该反射镜上，以使对于每个通道中中心波长形成的输出光都聚焦在该反射镜上的同一点，

该反射镜使输出光反射回透镜，并由该透镜对返回到角色散组件

的被反射输出光进行准直，以使被反射的输出光在角色散组件中经受多次反射。

12. 如权利要求 10 的光学装置，其中对于每个通道中心波长形成的输出光以同样的散射角从角色散组件中射出。

13. 如权利要求 4 的光学装置，其中

角色散组件引起输入光多次反射而产生自干涉，由此在输入波长上形成多个输出光，且每个输出光都有不同的干涉级，而且

角色散组件和光返回器件中的至少之一是可移动的，以便改变由光返回器件返回到角色散组件的输出光，从而把具有不同干涉级的输出光返回到角色散组件。

14. 如权利要求 4 的光学装置，其中光返回器件可相对于角色散组件移动，以改变为输入光提供的色散量。

15. 如权利要求 6 的光学装置，其中透镜是二维正常透镜和一维透镜之中的一种。

16. 如权利要求 6 的光学装置，其中透镜是柱面透镜。

17. 如权利要求 6 的光学装置，其中从反射镜的侧面看去，反射镜是凹面反射镜和凸面反射镜之中的一种。

18. 如权利要求 6 的光学装置，其中反射镜是平面反射镜，凹面反射镜和凸面反射镜中的一种。

19. 如权利要求 4 的光学装置，还包括

输入和输出光纤；及

一环形器，它

将来自输入光纤的输入光提供给角色散组件，以使角色散组件引起输入光的多次反射而产生自干涉，而且

在角色散组件中经受多次反射之后，该环形器将来自角色散组件的输出光提供给输出光纤。

20. 如权利要求 4 的光学装置，其中光返回器件是一逆向反射器。

21. 如权利要求 4 的光学装置，其中

角色散组件引起输入光多次反射而产生自干涉，由此在输入光波长上形成多个输出光，且每个输出光都有不同的干涉级，而且

该光返回器件是一仅反射一个干涉级的逆向反射器。

22. 如权利要求 20 的光学装置，其中该逆向反射器可以相对于角色散组件移动，以改变为输入光提供的色散量。

23. 如权利要求 10 的光学装置，其中角色散组件包括

彼此分隔开距离 t 的第一和第二反射表面，该第二反射表面具有让一部分从其穿过的光反射的反射率，及

一具有一折射率、位于第一和第二反射表面之间并充满距离 t 的透明材料，其中

波分复用光在第一与第二反射表面之间经受多次反射，使得每当波分复用光被第二反射表面反射时就有一部分波分复用光透过第二反射表面，波分复用光的所述部分彼此发生干涉，从而使输入光经多次反射和自干涉而产生输出光，以及

$2t\cos\theta$与透明材料折射率的乘积等于每个通道中心波长的整数倍，该波长的θ相同而整数不相同，这里θ表示对于每个通道中心波长所形成的输出光的传播方向。

24. 如权利要求 23 的光学装置，还包括:

一透镜，它通过通道区将输入光线聚焦到角色散组件内，从而角色散组件使输入光发生多次反射而产生自干涉。

25. 如权利要求 23 的光学装置，其中角色散组件的通道区是一辐射窗，它与第一反射表面位于同一平面内。

26. 如权利要求 4 的光学装置，其中输出光以一个随角色散组件温度变化而改变的角度从角色散组件中输出，该装置还包括:

一控制器，它控制角色散组件的温度，以稳定输出角。

27. 如权利要求 4 的光学装置，其中角色散组件包括:

一透明材料，和

位于该透明材料相反两侧的第一和第二反射表面，该第二反射表面具有让一部分从其穿过的光反射的反射率，输入光通过通道区被角

色散组件接收并在第一与第二反射表面之间经受多次反射，使得每当输入光被第二反射表面反射时就有一部分输入光透过第二反射表面，输入光的所述部分彼此发生干涉，从而使输入光经多次反射和自干涉而产生输出光。

28. 如权利要求 27 的光学装置，其中角色散组件第一反射表面的反射率接近 100％

29. 如权利要求 27 的光学装置，其中角色散组件第二反射表面的反射率大于 80％并小于 100％。

30. 如权利要求 27 的光学装置，其中在第一与第二反射表面之间，透明材料具有波分复用匹配 FSR 厚度。

31.一种用虚象的相控阵列产生色散的光学装置，包括:

一成虚象的相控阵列发生器，包含

一允许光从其通过的辐射窗，

一透明材料，及

被透明材料将其彼此分隔开的第一和第二反射表面，该第二反射表面具有让入射到其上的一部分光反射的反射率，输入光通过辐射窗接收然后在第一与第二反射表面之间多次反射，以使多束光透过第二反射表面，该多束透过光相互干涉从而使输入光经多次反射和自干涉而产生一准直输出光，该输出光从成虚象的相控阵列发生器传输出去，并且是根据输入光波长可空间区分的；以及

一光返回器件，它使输入光返回到成虚象的相控阵列发生器的第二反射表面并从其中透过，以使该输出光在成虚象的相控阵列发生器的第一和第二反射表面之间经受多次反射，然后从该辐射窗输出。

32. 如权利要求 31 的光学装置，其中对于所有波长的输入光而言，返回的输出光从光返回器件传输到成虚象的相控阵列发生器，其传输方向与输出光从成虚象的相控阵列发生器传输到光返回器件的方向严格相反。

33. 如权利要求 31 的光学装置，其中成虚象的相控阵列发生器的第一和第二反射表面是相互平行的。

34. 如权利要求 31 的光学装置，其中成虚象的相控阵列发生器第一反

射表面的反射率接近 100％。

35. 如权利要求 31 的光学装置，其中成虚象的相控阵列发生器第二反射表面的反射率大于 80％且小于 100％。

36. 如权利要求 31 的光学装置，其中窗与第一反射表面在同一平面内。

37. 如权利要求 31 的光学装置，其中通过窗以一个角度接收输入光，该角度可防止输入光在进入透明材料之前被第一反射表面反射，并防止输入光在第一和第二反射表面间反射以产生准直输出光的时候从该窗射出。

38. 如权利要求 31 的光学装置，其中光返回器件包括:

一反射镜；和

一透镜，它用于将成虚象的相控阵列发生器产生的输出光聚焦到反射镜上，

该反射镜将被聚焦的输出光反射回透镜，并由该透镜对返回成虚象的相控阵列发生器的被反射输出光进行准直，以使被准直的反射输出光在第一和第二反射表面之间经受多次反射，并随后通过窗输出。

39. 如权利要求 31 的光学装置，其中

被接收的入射光在成虚象的相控阵列发生器第一和第二反射表面之间的多次反射，使成虚象的相控阵列发生器在输入光波长上产生多个准直的输出光，且它们都有不同的干涉级，而且

光返回器件将输出光之一返回到成虚象的相控阵列发生器，而不将其它输出光返回到成虚象的相控阵列发生器。

40. 如权利要求 39 的光学装置，其中光返回器件包括:

一反射镜；和

一透镜，它将所述的一个输出光聚焦到反射镜上，而不将所述其它输出光聚焦在反射镜上，使得该反射镜将所述的一个输出光反射回透镜，并由透镜对正在反射回成虚象的相控阵列发生器的所述一个输出光进行准直，以使光在成虚象的相控阵列发生器中经受多次反射然后从窗输出。

41. 如权利要求 40 的光学装置，其中反射镜的尺寸使该反射镜可以反射所述的一个输出光，而不反射所述的其它输出光。

42. 如权利要求 31 的光学装置，其中

输入光是波分复用光，它包括多个通道，其每个通道有一中心波长和一环绕该中心波长的波长范围，

对于每个通道的波长来说，输入光在成虚象的相控阵列发生器第一和第二反射表面之间的多次反射产生透过第二反射表面的相应一组相干光，以通过输入光的多次反射和自干涉产生相应的准直输出光，通道中每个波长的输出光与该通道中任何其它波长光形成的输出光是可空间区分的，而且

光返回器件将输出光返回到成虚象的相控阵列发生器，以使返回的输出光在成虚象的相控阵列发生器第一和第二反射表面之间经受多次反射，并随后通过窗输出。

43. 如权利要求 42 的光学装置，其中光返回器件包括

一反射镜，和

一透镜，它把成虚象的相控阵列发生器所产生的输出光聚焦到该反射镜上，使对于每个通道中心波长所形成的输出光聚焦在反射镜上的同一点，

该反射镜将该输出光反射回透镜，并由透镜对返回成虚象的相控阵列发生器的反射输出光进行准直，使得被反射的输出光在成虚象的相控阵列发生器第一和第二反射表面之间经受多次反射，并随后通过窗输出。

44. 如权利要求 42 的光学装置，其中对于每个通道中心波长所形成的输出光从成虚象的相控阵列发生器以相同色散角传输出去。

45. 如权利要求 42 的光学装置，其中对于所有波长的输入光而言，被返回的输出光从光返回器件传输到成虚象的相控阵列发生器，其传输方向与输出光从成虚象的相控阵列发生器传输到光返回器件的方向严格相反。

46. 如权利要求 31 的光学装置，其中

被接收的入射光在成虚象的相控阵列发生器第一和第二反射表面之间的多次反射，使成虚象的相控阵列发生器在输入光波长上产生多个准直的输出光，且它们都有不同的干涉级，而且

成虚象的相控阵列发生器和光返回器件至少之一是可移动的，以改变被光返回器件返回到成虚象的相控阵列发生器的输出光，从而将

具有不同干涉级的输出光返回到成虚象的相控阵列发生器。

47. 权利要求 31 的光学装置，其中光返回器件可相对于成虚象的相控阵列发生器移动，以改变提供给输入光的色散量。

48. 如权利要求 38 的光学装置，其中透镜是下列一组中的一个：二维正常透镜和一维透镜。

49. 如权利要求 38 的光学装置，其中透镜是一柱面透镜。

50. 如权利要求 38 的光学装置，其中反射镜是下列一组中的一个：从反射镜侧面看到的凹面反射镜和凸面反射镜。

51. 如权利要求 38 的光学装置，其中反射镜是下列一组中的一个：平面反射镜，凹面反射镜和凸面反射镜。

52. 如权利要求 31 的光学装置，还包括：

第一和第二光纤；及

一环形器，它

通过窗从第一光纤向成虚象的相控阵列发生器提供输入光，和

在成虚象的相控阵列发生器中经受多次反射之后，从成虚象的相控阵列发生器向第二光纤提供被返回的输出光。

53. 如权利要求 31 的光学装置，其中光返回器件是一逆向反射器。

54. 如权利要求 31 的光学装置，其中

被接收的输入光在成虚象的相控阵列发生器第一和第二反射表面之间的多次反射，使成虚象的相控阵列发生器在输入光波长上产生多个准直的输出光，且它们都有不同的干涉级，而且

光返回器件是一逆向反射器，它仅仅反射一个干涉级。

55. 如权利要求 53 的光学装置，其中逆向反射器可相对于成虚象的相控阵列发生器移动，以改变提供给输入光的色散量。

56. 如权利要求 42 的光学装置，其中

第一和第二反射表面彼此隔开一距离 t，

透明材料有一折射率，以及

2tcosθ与透明材料折射率的乘积等于每个通道中心波长的整数倍，该波长的θ相同而整数不相同，这里θ表示由成虚象的相控阵列发生器产生的对于每个通道中心波长之输出光的传播方向。

57. 如权利要求 56 的光学装置，还包括:

一用于把输入光通过窗线聚焦到成虚象的相控阵列发生器内的透镜。

58. 如权利要求 31 的光学装置，其中第一和第二反射表面是多层介质干涉膜。

59. 如权利要求 31 的光学装置，其中透明材料是光学玻璃和空气中的一种。

60. 如权利要求 31 的光学装置，其中输出光以随成虚象的相控阵列发生器温度而变的角度从成虚象的相控阵列发生器输出，且该装置还包括:

一控制成虚象的相控阵列发生器温度以稳定输出角的控制器。

61. 一种用虚象的相控阵列产生色散的光学装置包括:

一成虚象的相控阵列发生器，它接收输入光并产生一个离开成虚象的相控阵列发生器传播的相应输出光; 以及

一使输出光返回成虚象的相控阵列发生器的光返回器件，其中光返回器件包括:

一反射镜; 和

一透镜，它将输出光聚焦在该反射镜上，从而使得反射镜反射该输出光，并由该透镜把反射光引回到该成虚象的相控阵列发生器。

62. 一种用虚象的相控阵列产生色散的光学装置，包括:

一成虚象的相控阵列发生器，它接收输入光并产生一离开成虚象的相控阵列发生器传播的相应输出光; 以及

一使输出光返回成虚象的相控阵列发生器的光返回器件，其中

输入光有一个特定的波长，

成虚象的相控阵列发生器产生多个有输入光波长的输出光，且它们都有不相同的干涉级，及

该光返回器件将有相应干涉级的输出光返回到成虚象的相控阵列发生器，而不将有任何其它干涉级的输出光返回到成虚象的相控阵列发生器 。

63. 一种用虚象的相控阵列产生色散的光学装置，包括

第一和第二表面，该第二表面具有让一部分从其穿过的光反射的反射率，其中

相应波长的输入光聚焦在一条直线上，而且

第一和第二表面的位置使得从该直线发出的输入光在第一和第二表面之间多次反射，从而产生多束透过第二表面的光，该多束透过光相互干涉而产生输出光，该输出光在空间上与不同波长输入光所产生的输出光是可区分的；而且

光返回器件，它将输出光返回第二表面，使得输出光通过第二表面并在第一和第二表面之间经受多次反射。

64. 如权利要求 63 的光学装置，其中光返回器件是一反射镜。

65. 一种用虚象的相控阵列产生色散的光学装置，包括:

发生装置，用于接收相应波长的输入光并产生一沿着输入光波长所确定的方向离开发生装置传播的相应输出光；和

用于使输出光返回发生装置的装置。

66. 一种接收相应波长输入光并将其聚焦成一条直线的装置，该装置包括:

彼此隔开的第一和第二表面;

一使从直线发出的输入光在第一和第二表面之间多次反射的装置，使得产生多束透过第二表面的光，该多束透过光相互干涉产生输出光，该输出光在空间上可区分于不同波长输入光所产生的输出光;而且

一将输出光返回到第二表面的装置，使得输出光通过第二表面并在第一和第二表面之间经受多次反射。

67. 一种接收输入光并产生可空间区分的输出光的装置，该装置包括:

彼此之间用空气隔开的第一和第二表面，该第二表面具有让一部分入射到其上的光反射的反射率，第一和第二表面的位置使得输入光在第一和第二表面之间穿过空气发生多次反射，从而产生多束透过第

二表面的光，该多束透过光相互干涉产生输出光，

其中输入光具有连续波长范围内的相应波长，且输出光在空间上与连续波长范围内的任何其它波长输入光所产生的输出光是可区分的。

68. 如权利要求 67 的装置，其中第一和第二表面是相互平行的。

69. 如权利要求 68 的装置，其中第一表面的反射率基本上为 100％。

70. 如权利要求 67 的装置，其中第二表面的反射率大于 80％并小于 100％。

71. 如权利要求 67 的装置，其中输入光包含至少两个具有不同波长的光，且多束透射光相互干涉产生每个输入光的各自输出光，每个输出光与其它输出光是可空间相区分的。

72. 如权利要求 67 的装置，其中输入光是波分复用光，它包含至少两个有不同波长的载波，且多束透射光相互干涉产生输入光各载波的各自输出光，每个输出光与其它输出光是可空间相区分的。

73. 如权利要求 72 的装置，其中每个输出光沿着与其它输出光不同的方向传播，从而在空间上可区分。

74. 一种接收波分复用光的装置，包括至少两个载波，并产生每个载波的空间可区分输出光，该装置包括：

彼此间用空气隔开的第一和第二表面，该第二表面具有让一部分入射到其上的光反射的反射率，第一和第二表面的位置使得波分复用光输入光在第一和第二表面之间穿过空气发生多次反射，从而产生多束透过第二表面的光，该多束透过光相互干涉产生波分复用光每个载波的相应输出光，其中第一和第二表面相互平行，第一表面的反射率基本上是 100%，第二表面的反射率大于 80%且小于 100%，并且

其中每个载波具有连续波长范围内的相应波长，且对于相应载波形成的输出光在空间上与连续波长范围内对于任何其它波长载波形成的输出光是可区分的。

75. 一种用虚象的相控阵列产生色散的光学装置，包括：

彼此间用空气隔开的第一和第二表面，该第二表面具有让一部分

入射到其上的光反射的反射率，其中

相应波长的输入光聚焦在一条直线上，而且

第一和第二表面的位置使得从该直线发出的输入光在第一和第二表面之间穿过空气发生多次反射，从而产生多束透过第二表面的光，该多束透过光相互干涉产生输出光，该输出光在空间上与不同波长输入光所产生的输出光是可区分的，其中输入光包含至少两个波长不同的光，且该装置产生每个输入光的各自输出光，每个输出光与其它输出光在空间上是可区分的，其中每个输出光沿着与其它输出光不同的方向传输，从而在空间上可区分，以及其中第一和第二表面彼此平行，第一表面的反射率基本上是100％，第二表面的反射率大于80％而小于100％。

76. 一种用虚象的相控阵列产生色散的光学装置，包括:

彼此间用空气隔开的第一和第二表面，该第二表面具有让一部分入射到其上的光反射的反射率，其中

相应波长的输入光聚焦在一条直线上，而且

第一和第二表面的位置使得从该直线发出的输入光在第一和第二表面之间穿过空气发生多次反射，从而产生多束透过第二表面的光，每个透过光与其它透过光相互干涉产生输出光，该输出光在空间上与不同波长输入光所产生的输出光是可区分的，其中输入光包括至少两个不同波长的光，且该装置产生每个输入光的各自输出光，并且每个输出光沿着与其它输出光不同的方向传输，每个输出光与其它输出光在空间上是可区分的。

用成虚象的相控阵列产生色散的光学装置

本申请是1996年7月24日递交的美国申请08/685,362的部分继续，并且该在前的申请在此引入作为参考。

本申请以1995年7月26日在日本递交的日本专利申请07-190535要求日本优先权，而且该申请也在此引入作为参考。

技术领域

本发明涉及一种产生色散的装置，它可以用于补偿光纤传输线中积累起来的色散。更具体地说，本发明涉及一种用成虚象的相控阵列产生色散的光学装置。

背景技术

图1（A）是表示传统的通过光传输信息的光纤通信系统示意图。现在参见图1（A），发射机30通过光纤34向接收机36发送脉冲32。不幸的是，光纤34的色散或者也称为“波长色散”会降低该系统的信号质量。更具体地说，由于色散的原因，光纤中信号的传播速度与信号的波长相关。例如，当波长较长（如一脉冲具有代表“红”色脉冲的波长）的脉冲传播得比波长较短脉冲（如一脉冲具有代表“蓝”色脉冲的波长）更快时，其色散通常称为正常色散。反之，当短波长脉冲（如蓝色脉冲）比长波长脉冲（如红色脉冲）传播得快时，其色散通常称为“反常”色散。

所以，如果当发射机30发射时脉冲32由红蓝两色脉冲组成，则脉冲32在光纤34内传播的过程中将发生分裂，致使接收机36在不同的时刻分别接收到分开的红色脉冲38和蓝色脉冲40。图1（A）表示了正常色散的情况，其中红色脉冲比蓝色脉冲传播得快。

作为另一个脉冲传输的例子，图1（B）是表示由发射机30发射的具有从蓝色到红色连续波长成分的脉冲42示意图。图1（C）是表示脉

冲 42 到达接收机 36 时的示意图。由于红色分量和蓝色分量以不同的速度传播，致使脉冲 42 在光纤 34 中展宽，并且如图 1（C）所示，发生色散失真。这种色散在光纤通信系统中非常普遍，因为全部脉冲包括在有限波长范围内。

所以，对于传输容量大的光纤通信系统而言，光纤通信系统的色散必须得到补偿。

图 2 是表示具有补偿色散的相反色散组件的光纤通信系统的示意图。现在参见图 2，一般地讲，相反色散组件 44 将对于脉冲添加一个“相反”的色散，以抵销在光纤 34 中传播所引起的色散。

一些传统的器件可以用作相反色散组件 44，例如，图 3 是表示一具有色散补偿光纤的光纤通信系统的示意图，该补偿光纤具有特殊的截面折射率分布并由此起着相反色散组件的作用，以补偿色散。现在参见图 3，色散补偿光纤 46 提供了用于抵销光纤 34 所致色散的相反色散。但是，色散补偿光纤制造成本高，而且为了充分补偿色散它必须达到一定的长度。比如，若光纤 34 有 100 公里长，则色散补偿光纤 46 应当大约 20 至 30 公里长。

图 4 是表示用作相反色散组件以补偿色散的线性调频光栅的示意图。现在参见图 4，通过光纤传播并发生了色散的光到达光环形器 50 的输入端 48。环形器 50 将该光提供给线性调频光栅 52。线性调频光栅 52 将光反射回环形器 50，而且不同的波长成分在线性调频光栅 52 上的不同距离处反射，致使不同波长的成分传播了不同的距离，以补偿色散。比如，线性调频光栅 52 可以设计成：长波成分在线性调频光栅 52 上的远处反射，从而使其比短波成分传播更长的距离。然后，环形器 50 将来自线性调频光栅 52 的反射光提供给输出端 54。因而，线性调频光栅 52 可以将一相反的色散加到脉冲上。

遗憾的是，线性调频光栅对反射脉冲的带宽很窄，所以它不能提供足以补偿多波长光（如波分复用光）的波长带宽。多个线性调频光栅可以级联起来用于波长多路复用信号，但是这会使系统很昂贵。如图 4 所示，带有环形器的线性调频光栅更适合于用在光纤通信系统中有单通道传播的场合。

图 5 是表示可用于产生色散的传统衍射光栅的示意图。现在参见图

5，衍射光栅 56 有一光栅表面 58。包含不同波长的平行光 60 入射到光栅表面 58 上。该入射光受到光栅表面 58 各个台阶的反射且彼此发生干涉。由此，不同波长的光 62，64 和 66 以不同角度从衍射光栅 56 输出。如下文将详细讨论的那样，衍射光栅可以按空间光栅对的方式使用，以补偿色散。

更具体地说，图 6（A）是表示用于补偿色散的相反色散组件的空间光栅对结构的示意图。现在参考图（A），光 67 受到第一衍射光栅 68 的衍射而变成短波长光 69 和长波长光 70。光 69 和 70 然后由第二衍射光栅 71 衍射成同方向传播的光。从图 6（A）中可以看出，不同波长的光成分传播了不同的距离，以加入一相反的色散，从而使色散得到补偿。由于长波（诸如光 70）比短波（如光 69）传播了更长的距离，所以图 6（A）所示的空间光栅对结构具有反常色散。

图 6（B）是表示另一个用于补偿色散的相反色散组件的空间光栅对结构的示意图。如图 6（B）所示，透镜 72 和 74 被放置在第一和第二衍射光栅 68 和 71 之间，并且它们共用一焦点。由于长波（如光 70）比短波（如光 69）传播距离短，所以图 6（B）所示的空间光栅对结构具有正常色散。

图 6（A）和 6（B）所示的空间光栅对结构通常用于控制激光谐振腔中的色散。但是，实际的空间光栅对结构不能提供足够大的色散来补偿光纤通信系统中产生的较大色散。更具体地说，衍射光栅产生的角色散通常极小，一般大约是 0.05°/nm。所以，为了补偿光纤通信系统中出现的色散，第一和第二光栅 68 和 71 还得分离开一较大的距离，从而使这种空间光栅对结构无实用性。

发明内容

所以，本发明的目的是提供一种产生色散的装置，而且该装置可以实际地补偿光纤中积累的色散。

本发明的目的通过提供一种包含本文称之为“成虚象的相控阵列”或“VIPA”器件的装置而实现。该 VIPA 产生一从 VIPA 传播出去的光。该装置还包括一使光返回到 VIPA 以在 VIPA 内经受多次反射的光返回器件。该光返回器件可以放置成这样：使具有相应干涉级的光返

回到 VIPA，而没有任何其它干涉级的光返回到 VIPA。

本发明的目的还可以通过提供一种包含 VIPA 的装置来实现，其接收连续波长范围内具有一定波长的输入光并产生连续的相应输出光。该输出光可以与连续波长范围内任何其它波长的输入光所形成的输出光在空间上相分辨（例如，沿不同的方向传播）。如果输出光可按其传播角度相分辨，那么该装置就有一角色散。

而且，本发明的目的通过提供一 VIPA 和一光返回器件来实现，其中 VIPA 包括一通道区和一透明材料。该通道区可以使光进入 VIPA，并从其中输出。该透明材料具有第一和第二表面，第二表面具有的反射率，可使入射到其上的一部分光透过。入射光通过通道区进入 VIPA 并在透明材料的第一和第二表面之间多次反射，从而产生多束透过第二表面的光。该多束透过光相互干涉产生输出光。输入光为连续波长范围内的某种波长，且其输出光与该连续波长范围内任何其它波长的输入光所形成的输出光在空间上是可区分的。光返回器件使输出光按照严格的反方向返回到第二表面，并透射到 VIPA 内，从而使输出光在 VIPA 内经受多次反射，然后从 VIPA 的通道区输出到输入光路中。

此外，本发明的目的通过提供一种包含 VIPA 的装置而实现，该 VIPA 对同一波长的输入光产生多个输出光，并且具有不同的干涉级。该装置还包括一光返回器件，它使一个干涉级的输出光返回到 VIPA 中，而不返回其它输出光。按此方式， 只有对应于单一干涉级的光被返回到 VIPA 中。

本发明为一种用虚象的相控阵列产生色散的光学装置，它包括：一成虚象的相控阵列发生器，它包括相互分离开的第一和第二反射表面，使其接收相应波长的输入光并产生一离开成虚象的相控阵列发生器传播出去的相应输出光，且该输出光是按照输入光波长可空间区分的；以及一使输出光返回成虚象的相控阵列发生器的光返回器件。

本发明的用虚象的相控阵列产生色散的光学装置还包括：一角色散组件，它有一将光收入其内并从中输出光的通道区，该角色散组件通过该通道区接受连续波长范围内相应波长的输入光，并使输入光发生多次反射以产生自干涉，形成角色散组件的输出光，而且该输出光在空间上可以与连续波长范围内任何其它波长的输入光所形成的输出光

相区分；以及一使输出光返回角色散组件的光返回器件，以使其在角色散组件中经受多次反射然后通过通道区从角色散组件中输出。

本发明的用虚象的相控阵列产生色散的光学装置还包括：一成虚象的相控阵列发生器，包含一允许光从其通过的辐射窗，一透明材料，及被透明材料将其彼此分隔开的第一和第二反射表面，该第二反射表面具有让入射到其上的一部分光反射的反射率，输入光通过辐射窗接收然后在第一与第二反射表面之间多次反射，以使多束光透过第二反射表面，该多束透过光相互干涉从而使输入光经多次反射和自干涉而产生一准直输出光，该输出光从成虚象的相控阵列发生器传输出去，并且是根据输入光波长可空间区分的；以及一光返回器件，它使输入光返回到成虚象的相控阵列发生器的第二反射表面并从其中透过，以使该输出光在成虚象的相控阵列发生器的第一和第二反射表面之间经受多次反射，然后从该辐射窗输出。

本发明的用虚象的相控阵列产生色散的光学装置还包括：一成虚象的相控阵列发生器，它接收输入光并产生一个离开成虚象的相控阵列发生器传播的相应输出光；以及一使输出光返回成虚象的相控阵列发生器的光返回器件，其中光返回器件包括：一反射镜；和一透镜，它将输出光聚焦在该反射镜上，从而使得反射镜反射该输出光，并由该透镜把反射光引回到该成虚象的相控阵列发生器。

本发明的用虚象的相控阵列产生色散的光学装置还包括：一成虚象的相控阵列发生器，它接收输入光并产生一离开成虚象的相控阵列发生器传播的相应输出光；以及一使输出光返回成虚象的相控阵列发生器的光返回器件，其中输入光有一个特定的波长，成虚象的相控阵列发生器产生多个有输入光波长的输出光，且它们都有不相同的干涉级，及该光返回器件将有相应干涉级的输出光返回到成虚象的相控阵列发生器，而不将有任何其它干涉级的输出光返回到成虚象的相控阵列发生器。

本发明的用虚象的相控阵列产生色散的光学装置还包括：第一和第二表面，该第二表面具有让一部分从其穿过的光反射的反射率，其中相应波长的输入光聚焦在一条直线上，而且第一和第二表面的位置使得从该直线发出的输入光在第一和第二表面之间多次反射，从而产生

多束透过第二表面的光，该多束透过光相互干涉而产生输出光，该输出光在空间上与不同波长输入光所产生的输出光是可区分的；而且光返回器件，它将输出光返回第二表面，使得输出光通过第二表面并在第一和第二表面之间经受多次反射。

本发明的用虚象的相控阵列产生色散的光学装置还包括：发生装置，用于接收相应波长的输入光并产生一沿着输入光波长所确定的方向离开发生装置传播的相应输出光；和用于使输出光返回发生装置的装置。

本发明还包括一种接收相应波长输入光并将其聚焦成一条直线的装置，该装置包括：彼此隔开的第一和第二表面；一使从直线发出的输入光在第一和第二表面之间多次反射的装置，使得产生多束透过第二表面的光，该多束透过光相互干涉产生输出光，该输出光在空间上可区分于不同波长输入光所产生的输出光；而且一将输出光返回到第二表面的装置，使得输出光通过第二表面并在第一和第二表面之间经受多次反射。

本发明还包括一种接收输入光并产生可空间区分的输出光的装置，该装置包括：彼此之间用空气隔开的第一和第二表面，该第二表面具有让一部分入射到其上的光反射的反射率，第一和第二表面的位置使得输入光在第一和第二表面之间穿过空气发生多次反射，从而产生多束透过第二表面的光，该多束透过光相互干涉产生输出光，其中输入光具有连续波长范围内的相应波长，且输出光在空间上与连续波长范围内的任何其它波长输入光所产生的输出光是可区分的。

本发明还包括一种接收波分复用光的装置，它包括至少两个载波，并产生每个载波的空间可区分输出光，该装置包括：彼此间用空气隔开的第一和第二表面，该第二表面具有让一部分入射到其上的光反射的反射率，第一和第二表面的位置使得波分复用光输入光在第一和第二表面之间穿过空气发生多次反射，从而产生多束透过第二表面的光，该多束透过光相互干涉产生波分复用光每个载波的相应输出光，其中第一和第二表面相互平行，第一表面的反射率基本上是100%，第二表面的反射率大于80%且小于100%，并且其中每个载波具有连续波长范围内的相应波长，且对于相应载波形成的输出光在空间上与连续波长

范围内对于任何其它波长载波形成的输出光是可区分的。

本发明的用虚象的相控阵列产生色散的光学装置还包括:彼此间用空气隔开的第一和第二表面，该第二表面具有让一部分入射到其上的光反射的反射率，其中相应波长的输入光聚焦在一条直线上，而且第一和第二表面的位置使得从该直线发出的输入光在第一和第二表面之间穿过空气发生多次反射，从而产生多束透过第二表面的光，该多束透过光相互干涉产生输出光，该输出光在空间上与不同波长输入光所产生的输出光是可区分的，其中输入光包含至少两个波长不同的光，且该装置产生每个输入光的各自输出光，每个输出光与其它输出光在空间上是可区分的，其中每个输出光沿着与其它输出光不同的方向传输，从而在空间上可区分，以及其中第一和第二表面彼此平行，第一表面的反射率基本上是100%，第二表面的反射率大于80%而小于100%。

本发明的用虚象的相控阵列产生色散的光学装置还包括:彼此间用空气隔开的第一和第二表面，该第二表面具有让一部分入射到其上的光反射的反射率，其中相应波长的输入光聚焦在一条直线上，而且第一和第二表面的位置使得从该直线发出的输入光在第一和第二表面之间穿过空气发生多次反射，从而产生多束透过第二表面的光，每个透过光与其它透过光相互干涉产生输出光，该输出光在空间上与不同波长输入光所产生的输出光是可区分的，其中输入光包括至少两个不同波长的光，且该装置产生每个输入光的各自输出光，并且每个输出光沿着与其它输出光不同的方向传输，每个输出光与其它输出光在空间上是可区分的。

附图说明

本发明的这些和其它目的与优点,将通过结合附图对优选实施例的下述说明而更为清楚明了，其中:

图1(A)(已有技术)是表示传统光纤通信系统的示意图。

图1(B)是表示脉冲未经传统光纤通信系统中光纤进行传播之前的示意图。

图 1(C)是表示脉冲经传统光纤通信系统中光纤传播之后的示意图。

图 2(已有技术)是表示具有补偿色散的相反色散组件的光纤通信系统的示意图。

图 3(已有技术)是表示具有起相反色散组件作用的色散补偿光纤的光纤通信系统的示意图。

图 4(已有技术)是表示用作相反色散组件以补偿色散的线性调频光栅的示意图。

图 5(已有技术)是表示可用于产生色散的传统衍射光栅的示意图。

图 6(A)(已有技术)是表示用于产生异常色散的空间光栅对结构的示意图。

图 6(B)(已有技术)是表示用于产生正常色散的空间光栅对结构的示意图。

图 7 是表示根据本发明一实施例的 VIPA 的示意图。

图 8 是表示根据本发明一实施例的图 7 中 VIPA 的细部示意图。

图 9 是表示根据本发明一实施例的图 7 所示 VIPA 沿 IX-IX 线剖开的示意图。

图 10 是表示根据本发明一实施例由 VIPA 产生的反射光之间的干涉的示意图。

图 11 是表示根据本发明一实施例用于确定输入光倾角的图 7 所示 VIPA 沿 IX-IX 线剖开的示意图。

图 12(A),图 12(B),图 12(C)和图 12(D)是表示根据本发明一实施例的 VIPA 制作方法的示意图。

图 13 是表示根据本发明一实施例,将 VIPA 作为产生色散的角度色散组件使用的装置的示意图。

图 14 是表示根据本发明一实施例的图 13 中装置工作原理的详细示意图。

图 15 是表示根据本发明一实施例的 VIPA 的各级干涉光的示意图。

图 16 是表示根据本发明一实施例的波分复用光的几个通道色散情况的示意图。

图 17 是表示根据本发明一实施例的被 VIPA 聚焦在反射镜上不同点的波分复用光的不同通道的示意图。

图 18 是表示根据本发明一实施例，利用 VIPA 为光提供可变色散的装置的侧视图。

图 19 是表示根据本发明另一实施例，利用 VIPA 为光提供可变色散的装置的侧视图。

图 20（A）和图 20（B）是表示根据本发明的其它实施例，利用 VIPA 为光提供色散的装置的侧视图。

图 21 是表示根据本发明再一实施例，利用 VIPA 为光提供可变色散的装置的侧视图。

图 22 是表示根据本发明一实施例，图 13 中装置与环形器组合在一起的顶视图。

图 23 是表示根据本发明的一实施例采用 VIPA 的装置的顶视图。

图 24 是表示根据本发明一实施例，用于控制 VIPA 温度的控制器的示意图。

具体实施方式

在详细说明本发明优选实施例、附图所示实例的过程中，将使用标记，其中相同的附图标记始终代表相同的元件。

图 7 是表示根据本发明一个实施例的成虚象的相控阵列（VIPA）的示意图。而且在下文中，术语“成虚象的相控阵列”和“VIPA”可以互相替换使用。

现在参见图 7，VIPA 76 适宜由薄玻璃板制成。用透镜 80，诸如半圆柱形透镜，将输入光 77 聚焦成一条直线 78，以使输入光 77 进入 VIPA 76 中。在下文中，将直线 78 称为“焦线 78”。输入光 77 从焦线 78 径向传播到 VIPA 76 内。然后，VIPA 76 输出准直光通量（Luminous flux）82，其中光通量 82 的输出角随着输入光波长的不同而改变。例如，当输入光 77 的波长为λ1 时，VIPA 76 将沿特定方向输出波长为λ1 的光通量 82a。当输入光 77 的波长为λ2 时，VIPA 76 将沿着不同的方向输出波长为λ2 的光通量 82b。而且，VIPA 76 产生彼此在空间上可区分的光通量 82a 和 82b。

图 8 是表示根据本发明一个实施例的 VIPA 76 的细部示意图。参见图 8，VIPA 76 包括由诸如玻璃等制成的平板 120，且其上有反射膜 122

和 124。反射膜 122 适宜有近似 95%或更高，但小于 100%的反射率。反射膜 124 适宜有近似 100%的反射率。平板 120 上加工有辐射窗 126，且适宜有近似为 0%的反射率。

输入光 77 被透镜 80 聚焦成焦线 78 通过辐射窗 126，在反射膜 122 和 124 之间发生多次反射。焦线 78 适宜落在平板 120 的涂有反射膜 122 的表面上。于是，焦线 78 基本呈直线地聚焦在反射膜 122 上并通过辐射窗 126。当输入光被透镜 80 聚焦时，焦线 78 的宽度可以称为输入光 77 的“束腰”。因而，图 8 中所示的本发明实施例将输入光 77 的束腰聚焦在平板 120 的远表面上（即有反射膜 122 的表面）。通过将束腰聚焦在平板 120 的远表面上，本发明实施例可减小（i）输入光进入辐射窗 126 时，平板 120 表面上的辐射窗 126 被输入光 77 所照射的区域（例如，下文将要详细讨论的图 11 所示的区域“a”），与（ii）输入光 77 第一次被反射膜 124 反射时，反射膜 124 上被输入光 77 照射的区域（例如下文就详细讨论的图 11 所示的区域“b”），相重叠的可能性。减小这种重叠是确保 VIPA 正常工作所需要的。

在图 8 中，输入光 77 的光轴 132 有一个小的倾角θ。当反射膜 122 第一次反射时，有 5%的光透过反射膜 122 并且在束腰之后发散，有 95%的光反射向着反射膜 124。经反射膜 124 反射之后，光再次射到反射膜 122 上但位移了一个量值 d 。然后 5%的光透过反射膜 122。如图 8 所示，按照相似的方式，光被分解成有恒定间隔 d 的多条光路。每条光路中光束的形状是这样的：光从束腰的虚象 134 开始发散。虚象 134 沿着垂直于平板 120 的一条直线以恒定间隔 2t 分布，其中 t 是平板 120 的厚度。虚象 134 中的束腰位置是自对准的而无须调整它们的位置。从虚象 134 发散的光相互干涉并形成准直光 136，该准直光 136 的传播方向随输入光 77 的波长而改变。

光路的间隔 $d=2t\sin\theta$，相邻光束的光路长度之差是 $2t\cos\theta$。角色散正比于这两个数之比，即 $\cot\theta$。其结果是 VIPA 产生一个较大的角色散。

如从图 8 中可看到的那样，术语“成虚象的相控阵列”是由形成虚象 134 的阵列而得来的。

根据本发明的一个实施例，图 9 是表示图 7 所示 VIPA76 沿着直线 IX--IX 的断面。参见图 9，平板 120 具有反射表面 122 和 124。反射表面 122 和 124 相互平行，并相隔平板 120 的厚度 t。反射表面 122 和 124 通常是镀在平板 120 上的反射膜。如前所述，反射表面 124 除了辐射窗 126 的区域之外具有接近 100%的反射率，而反射表面 122 具有接近 95%或更高的反射率。所以，反射表面 122 具有接近 5%或更高的透射率，以使得照在反射表面 122 上的光有接近 5%或更少的部分将会透射过去，而有接近 95%的光将会反射。反射表面 122 和 124 的反射率容易因所使用的具体 VIPA 而改变。但是，一般来说反射表面 122 应该有小于 100%的反射率，以使一部分的入射光透射过去。

反射表面 124 上有一个辐射窗 126。辐射窗 126 允许光从中通过，而且最好没有反射，或者有很低的反射。辐射窗 126 接收输入光 77 以允许输入光 77 进入反射表面 122 和 124 之间，并在其间反射。

由于图 9 表示了图 7 沿 IX--IX 的一个截面，所以图 7 中的焦线 78 在图 9 中表现为一个点。然后输入光 77 从焦线 78 径向地传播出去。此外如图 9 所示，焦线 78 位于反射表面 122 上。尽管焦线 78 无须在反射表面 122 上，但是焦线 78 的位移会引起 VIPA76 特性的微小改变。

如图 9 所示，输入光通过辐射窗 126 内的区域 A0 进入平板 120，其中点 P0 表示区域 A0 周围的点。

由于反射表面 122 的反射率，有接近 95%或更多的输入光 77 被反射表面 122 反射并入射到反射表面 124 的区域 A1。点 P1 表示区域 A1 周围的点。在反射离开反射表面 124 上的区域 A1 之后，输入光 77 传输到反射表面 122 并且有一部分透过反射表面 122，作为由 R1 光线定义的输出光 Out1。以这种方式，如图 9 所示，输入光 77 在反射表面 122 和 124 之间多次反射，其中每一次反射离开反射表面 122 都有透过的相应输出光。因此，输入光 77 反射离开区域 A2， A3 和 A4，以产生输出光 Out2， Out3 和 Out4。点 P2 表示区域 A2 周围的点，点 P3 表示区域 A3 周围的点，点 P4 表示区域 A4 周围的点。输出光 Out2 由光线 R2 定义，输出光 Out3 由光线 R3 定义，输出光 Out4 由光线 R4 定义。尽管图 9 只表示出输出光 Out0， Out1， Out2， Out3 和 Out4，但是根据输入光 77 的功率和反射

表面 122 和 124 的反射，实际上有许多这样的输出光。正如下文将要详细讨论的那样，输出光彼此相互干涉以产生一个其传输方向随输入光波长而改变的光束。

图 10 表示发明的一个实施例，它是 VIPA 所产生的反射光之间干涉的示意图。现参见图 10，从焦线 78 传输的光被反射表面 124 反射。如前文所述，反射表面 124 具有接近 100 % 的反射率，并因此有反射镜的作用。结果，对输出光 Out1 可以进行光学分析，就如同反射表面 122 和 124 不存在，而是输出光 Out1 从焦线 I1 发出。同样地，可以对输出光 Out2， Out3 和 Out4 作光学分析，如同它们分别从焦线 I1， I2， I3 和 I4 发出。焦线 I2， I3 和 I4 是焦线 I0 的虚象。

因此，如图 10 所示，焦线 I1 距焦线 I0 有 2t 距离，其中 t 是反射表面 122 和 124 之间的距离。同样地，每个后续焦线距前面相邻的焦线有 2t 的距离。因此，焦线 I2 距焦线 I1 有 2t 的距离。进而，在反射表面 122 和 124 之间，每个后续的多次反射将产生一个比前面输出光强度弱的输出光。所以，输出光 Out2 比输出光 Out1 在强度上要弱。

如图 10 所示，来自焦线的输出光相互重叠和干涉。这种干涉产生一个沿着依赖于输入光 77 波长的特定方向传输的光束。

本发明前述实施例的 VIPA 有一些强制的条件，这些条件是 VIPA 设计的条件。这些强制条件可增强输出光的干涉，以便形成光通量。 VIPA 的强制条件由下述方程 1 表示:

$$2t\times\cos\theta = m\lambda$$

式中θ 表示所得光通量的传输方向，该角度是从垂直于反射表面 122 和 124 的直线测得的，λ 表示输入光的波长， t 表示反射表面 122 和 124 之间的距离， m 表示一个整数。

因此，如果 t 是一个常数，并且 m 是一个特定的值，则对于具有波长λ 的输入光而言，所形成的光通量的传输方向可以被确定。

更准确地说，输入光 77 以一个特定的角从焦线 78 径向地发散。所以具有同样波长的输入光从焦线 78 将在许多不同的方向上传输，以在反射表面 122 和 124 之间反射。 VIPA 的强制条件引起一在特定方向上传播的光，该特定方向是通过输出光的干涉强制获得的，以致形成一个具有与输入光

波长相对应方向的光通量。在不同于由强制条件获得的特定方向的方向上传输的光，将会因输出光的干涉削弱。

根据本发明的一个实施例，图 11 是表示图 7 所示 VIPA 沿 IX-IX 线断开的示意图，它表示用于确定输入光倾角的 VIPA 特性。

现在参见图 11，输入光 77 由柱透镜（图中未表示）汇集并聚焦在焦线 78 上。如图 11 所示，输入光 77 覆盖了具有在辐射窗 126 上等于“a”宽度的区域。输入光 77 从反射表面 122 反射一次之后，入射到反射表面 124 上并覆盖了在反射表面 124 上的等于“b”宽度的区域。此外，如图 11 所示，输入光 77 沿光轴 132 传输，该光轴与反射表面 122 的垂线有一个倾角 θ1。

倾角θ1 应当这样设置，它避免输入光 77 从反射表面 122 第一次反射之后传输到辐射窗 126 之外。换句话说，倾角θ1 应当这样设置，它使得输入光 77 在反射表面 122 和 124 之间保持“被夹在里面”并且不从辐射窗 126 逃逸。因而，为避免输入光 77 传输到辐射窗 126 之外，应当根据下述等式（2）这样设置倾角θ1：

光轴的倾角$\theta 1 \geq (a+b)/4t$

因此，如图 7 至 11 所示，本发明的实施例包括一个 VIPA。它接收具有连续波长范围内相应波长的输入光。VIPA 引起输入光的多次反射，以产生自干涉并以此形成输出光。输出光在空间上与具有连续波长范围内其它波长的输入光所形成的输出光相区分。例如，图 9 表示一输入光 77，它在反射表面 122 和 124 之间经过了多次反射。这一多次反射产生了大量彼此相互干涉的输出光 Out0，Out1，Out2，Out3 和 Out4，以产生在空间上可区分的每个具有输入光 77 波长的光通量。

“自干涉”是一个表示在从同一光源发出的所有许多光或光束之间发生干涉的术语。因此，输出光 Out0，Out1，Out2，Out3 和 Out4 称为输入光 77 的自干涉，因为输出光 Out0，Out1，Out2，Out3 和 Out4 全都从同一光源（即输入光 77）中发出。

根据本发明的前述实施例，输入光可以是连续波长范围内的任意波长。因此，输入光不受波长的限制，该波长是从离散值范围中选出的一个值。此外，根据本发明的前述实施例，连续波长范围内特定波长输入光所

产生的输出光，与该连续波长范围内以不同波长输入的光产生的输出光，在空间上是可区分的。因此，如图7所示，当输入光77含有连续波长范围内不同的波长时，光通量82的传输方向（即“空间特性”）是不同的。

图12（A），图12（B），图12（C）和图12（D）是表示根据本发明一个实施例的VIPA制作方法的示意图。

参见图12（A），一平行平板164是由玻璃制成的，并有极好的平行度。反射膜166和168用真空镀膜、离子溅射或其它此类方法形成在平行平板164的两边。反射膜166和168之一具有接近100％反射率，而另一反射膜具有低于100％且高于80％的反射率。

现在参见图2（B），反射膜166和168之一被部分地刮掉，以形成辐射窗170。在图12（B）中，反射膜166被表示成刮掉，使得辐射窗170可以与反射膜166形成在平行平板164的同一表面上。然而也可代之以，反射膜168可以部分地被刮掉，使得辐射窗170可以与反射膜168形成在平行平板164的同一表面上。如本发明的各个实施例所述的那样，辐射窗可以在平行平板164的任何一侧形成。

刮掉反射膜可以由刻蚀方法完成，但是机械切削方法也可以采用，且价格更低廉。然而，如果反射膜被机械地刮掉，则需要更小心地处理平行平板164，以将对平行平板164的损害降到最低。例如，如果平行平板上被形成辐射窗的部分被严重损害的话，则平行平板164将由于所接收到的输入的光散射而产生过度的损耗。

而替代先形成反射膜然后刮掉，辐射窗的产生可以通过对平行平板164上对应着辐射窗的部分预先形成一掩膜，于是就可避免该部分被反射膜覆盖。

现在参见图12（C），透明的粘合剂172被涂在反射膜166和已经除去了反射膜166的那部分平行平板164上。粘合剂172将产生最小可能的光损耗，因为它也同样被涂在形成有辐射窗的那部分平行平板164上。

现在参见图12（D），将透明保护板174贴在透明粘合剂172上来保护反射膜166和平行平板164。因为透明粘合剂172用于填充因刮掉反射膜166而产生的下凹部分，所以可使透明保护板174与平行平板164的上表面平行。

同样，为保护反射膜 168 ，粘合剂（未表示出）可以涂在反射膜 168 的上表面并加一个保护板（未表示出）。如果反射膜 168 具有接近 100 % 反射率，并且在平行平板 164 的同一表面上没有辐射窗，那么粘合剂和保护板没有必要是透明的。

此外，可以把增透膜 176 涂在透明保护板 174 上。例如，透明保护板 174 和辐射窗 170 可以用增透膜 176 覆盖。

根据本发明的前述实施例，焦线被描述成落在辐射窗的表面上，或者在平行平板的相对表面上，该相对表面是输入光进入的表面。但是，焦线也可以在平行平板中聚焦，或在辐射窗之前聚焦。

根据本发明的前述实施例，两个反射膜使光在其间反射，其中一个反射膜的反射率接近 100 %。然而，同样的效果可以用反射率都小于 100 % 的两个膜来获得。例如两个反射膜都具有 95 % 的反射率。在此情况下，每个反射膜都有光从中透过并产生干涉。结果，在有反射膜的平行平板两侧，形成了在随波长而变的方向上传输的光束。因此，本发明各个实施例的各个反射率，可根据所需的 VIPA 的特性方便地加以改变。

根据本发明的前述实施例，表示出了有平行平板或由相互平行的两个反射表面构成的波导器件。然而，平板或反射表面不是必须平行的。

根据本发明的上述实施例， VIPA 利用了多次反射方式，并在相干光之间保持恒定的相位差。结果， VIPA 的特性是稳定的，从而减小了由偏振引发的光学特性变化。与之相反，传统衍射光栅的光学特性将随输入光的偏振发生不需要的改变。

本发明的前述实施例涉及提供彼此“空间可区分”的光束。“空间可区分”表示在空间上可区分的光束。例如，如果有许多光束是准直的且在不同方向上传输，或者聚焦在不同的位置上，则它们是空间可区分的。然而本发明并不意味着局限这些精确的实例，而是存在许多使光束空间彼此可分的其它方法。

图 13 是本发明一个实施例的示意图，它表示了用 VIPA 代替衍射光栅作为产生色散的角度色散组件的装置。参见图 13， VIPA 240 具有反射率接近 100 % 的第一表面 242 和反射率接近 98 % 的第二表面 244 。 VIPA 240 还包括一个辐射窗 247 。但是， VIPA 240 不局限于这种具体结构。相反地，

如本文所述， VIPA 240 可以有许多不同的结构。

如图 13 所示，光从光纤 246 输出，被准直透镜 248 准直并透过辐射窗 247 被柱透镜 250 线聚焦在 VIPA 240 内。然后， VIPA 240 产生一个准直光 251 ，该准直光 251 被聚焦透镜 252 聚焦在反射镜 254 上。反射镜 254 可以是形成在基板 258 上的反射镜一部分 256 。

反射镜 254 将通过聚焦透镜 252 将光反射回 VIPA 240 内。然后，该光在 VIPA 240 内经过多次反射并从辐射窗 247 输出。从辐射窗 247 输出的光传输通过柱透镜 250 和准直透镜 248 ，并由光纤 246 接收。

所以，光从 VIPA 240 输出并受到反射镜 254 反射而返回 VIPA 240 内。由反射镜 254 反射的光沿着这样的路径传输，该路径的反向与原传输方向刚好相反。如下文将要详细描述的那样，光中的不同波长成分被聚焦到反射镜 254 上的不同部位，并反射回 VIPA 240 。其结果是，不同波长成分传输不同的距离，因而产生了色散。

图 14 是本发明的一个实施例的详细示意图，它表示了图 13 中装置的工作原理。假设具有不同波长成分的光被 VIPA 240 接收到。如图 14 所示， VIPA 240 将使束腰 262 成一些虚象 260 ，其中每个虚象 260 均发光。

如图 14 所示，聚焦透镜 252 将来自 VIPA 240 的准直光中不同波长成分的光聚焦在反射镜 254 上不同点处。更准确地说，长波长 264 聚焦在点 272 上，中心波长 266 聚焦在点 270 上，短波长 268 聚焦在点 274 上。于是，与中心波长 266 相比，长波长 264 返回到更靠近束腰 262 的虚象 260 。与中心波长 266 相比，短波长 268 返回到更远离束腰 262 的虚象 260 。因此，这种分布可提供正常色散。

反射镜 254 被设计成仅仅反射特定干涉级的光，而任意其它干涉级的光则聚焦在反射镜 254 之外。更准确地说，如前所述， VIPA 将输出一准直光。该准直光将在这样的方向上传输，在该方向上从每个虚象发出的光路有一个差值 $m\lambda$ ，其中 m 是一个整数。干涉的第 m 级被定义为对应 m 的输出光。

例如，图 15 是表示 VIPA 各级干涉光的示意图。参见图 15 ，一个 VIPA ，如 VIPA 240 ，其发出准直光 276 、 278 和 280 。每个准直光 276 ，278 和 280 对应不同的干涉级。因此，例如准直光 276 是与第 n+2 干涉级

对应的准直光，准直光 278 是与第 n+1 干涉级对应的准直光，准直光 280 是与第 n 干涉级对应的准直光，其中 n 是一个整数。准直光 276 被表示为具有几个种长成分 276a， 276b 和 276c。同样，准直光 278 被表示为具有几种波长成分 278a， 278b 和 278c，准直光 280 被表示为具有几种波长成分 280a， 280b 和 280c。这里，波长成分 276a， 278a 和 280a 都有相同的波长。波长成分 276b， 278b 和 280b 也有相同的波长（但不同于波长成分 276a， 278a 和 280a 的波长）。波长成分 276c， 278c 和 280c 也都有相同的波长（但不同于波长成分 276a， 278a 和 280a 的波长，也不同于波长成分 276b， 278b 和 280b 的波长）。尽管图 15 仅仅描述了三个不同干涉级的准直光，但还会发出许多其它干涉级的准直光。

由于相同波长不同干涉级的准直光沿着不同的方向传播并聚焦在不同位置上，因此反射镜 254 仅能将单个干涉级的光反射回 VIPA 240。例如图 15 所示，反射镜 254 的反射部分的长度应该比较小，以使得只反射对应于单个干涉级的光。更为具体地说，在图 15 中，只有准直光 278 受到反射镜 254 的反射。在此情况下，准直光 276 和 278 聚焦在反射镜 254 之外。

波分复用光通常包括许多通道。再参见图 13，如果 VIPA 240 的第一与第二表面 242 和 244 之间的厚度 t 被设定为一特定值，那么这种布置将可以同时补偿每个通道的色散。

更具体地说，每个通道具有一个中心波长。这些中心波长通常间隔开一个恒定的频率间隔。VIPA 240 的第一与第二表面 242 和 244 间的厚度 t 应该设定成，使得对应于中心波长所有波长成分都以相同的角度从 VIPA 240 输出，并由此聚焦在反射镜 254 上的同一聚焦位置。当厚度 t 设定成：对于每个通道，对应于中心波长的波长成分通过 VIPA 240 传播所经历的环路光程长度是每个通道的中心波长的倍数时，这是可能的。厚度 t 的这个量值在下文中将称为“WDM（波分复用）匹配自由光谱范围（FSR）厚度”，或“WDM 匹配 FSR 厚度”。

而且，在此情况下，经由 VIPA 240 的环路光程长度（$2nt\cos\theta$）等于每通道的中心波长所对应的波长乘以一个整数，该波长的每个 θ 相同而整数不相同，其中 n 是第一与第二表面 242 和 244 之间材料的折射率，θ 表示与每个通道的中心波长相应的光通量的传播方向。更具体地说，如前所述，

θ表示从垂直于反射表面122与124的直线测得的光通量的传播方向。

所以，如果t设定为：对于每个通道中与中心波长相对应的波长成分而言，2ntcosθ是每个通道的中心波长的整数倍（θ相同而该整数不同），则与中心波长对应的所有波长成分将以相同的输出角从VIPA 240发出，并聚焦在反射镜254上的同一聚焦位置。

例如，环路中2mm的实际长度（近似于两倍的VIPA厚度1mm）和1.5的折射率能使间隔100GHz的所有波长满足该条件。其结果是，VIPA 240可以同时补偿波分复用光所有通道中的色散。

所以，参考图14，通过将厚度t设定为WDM匹配FSR厚度，VIPA 240和聚焦透镜252将会使：（a）与每个通道的中心波长对应的波长成分聚焦在反射镜254上的点270，（b）与每个通道的长波长对应的波长成分聚焦在反射镜254上的点272，（c）与每个通道的短波长对应的波长成分聚焦在反射镜254上的点274。因此，VIPA 240可以用于补偿波分复用光所有通道中的色散。

图16是表示根据本发明一实施例，在厚度t被设定为WDM匹配FSR厚度情况下，波分复用光的几个通道色散量的示意图。如图16所示，所有通道都提供有相同的色散。但是，在通道之间色散是不连续的。而且，VIPA240所要进行色散补偿的每个通道的波长范围可以通过适当设定反射镜254尺寸来设定。

如果不将厚度t设定为WDM匹配FSR厚度，则波分复用光的不同通道将被聚焦在反射镜254上的不同点。例如，如果厚度t等于二分之一，三分之一或其它比例的环路光程厚度，则两个，三个，四个或更多通道的焦点可以聚焦在同一反射镜上，但其每个通道聚焦在不同的焦点。更为具体地说，当厚度t等于二分之一WDM匹配FSR厚度时，来自奇数通道的光将聚焦在反射镜254上同一点，而且来自偶数通道的光将聚焦在反射镜254上同一点上。但是，来自奇数通道的光将聚焦在与来自偶数通道的光不相同的点上。

例如，图17是表示根据本发明一实施例，被聚焦在反射镜254上不同点的不同通道的示意图。如图17所示，偶数通道中心波长的波长成分被聚焦在反射镜254上的一点，而奇数通道中心波长的波长成分被聚焦在另一

点上。其结果是，VIPA 240 可以同时充分地补偿波分复用光所有通道中的色散。

有几种不同的改变由 VIPA 加入之色散值的方法。例如，图 18 是表示根据本发明一实施例，利用 VIPA 为光提供可变色散的装置的侧视图。参见图 18，VIPA 240 产生各自有不同角色散的不同干涉级。所以，加到光信号中的色散量可以通过转动或移动 VIPA 240 而改变，以使得对应于不同干涉级的光聚焦在反射镜 254 上并反射回 VIPA 240。

图 19 是表示根据本发明另一实施例，利用 VIPA 为光提供可变色散装置的侧视图。参见图 19，聚焦透镜 252 与反射镜 254 之间的相对距离保持不变，而且聚焦透镜 252 和反射镜 254 一起相对于 VIPA 240 移动。聚焦透镜 252 和反射镜 254 的这种移动可改变从反射镜 254 返回到 VIPA 240 的光的位移，从而可改变色散。

图 20（A）和图 20（B）是表示根据本发明的其它实施例，利用 VIPA 为光提供可变色散的装置的侧视图。图 20（A）和图 20（B）与图 14 相似，其中图 20（A）和图 20（B）表示由束腰 262 的虚象 260 所发出的光的长波长 264，中心波长 266 和短波长 268 的传播方向。

现在参见图 20（A），反射镜 254 是一个凸面反射镜。利用该凸面反射镜放大光束的位移。所以，利用短透镜焦距和小间隔可以得到大的色散。当反射镜 254 是凸的时，如图 20（A），凸面形状通常仅仅可以从侧面看出，而不能从顶视方向看出。

现在参见图 20（B），反射镜 254 是一个凹面反射镜。利用凹面反射镜，色散的符号是负的。所以非常色散可以利用短透镜焦距和小间隔获得。当反射镜 254 是凹的时，如图 20（B），凹面的形状通常仅仅可以从侧面看出，而不能从顶视方向看出。

当从顶部看时，反射镜 254 也许是凹的或凸的反射镜，因此显示出反射镜是“一维”反射镜。

在图 20（A）和图 20（B）中，反射镜 254 位于或接近聚焦透镜 252 的焦点。

图 21 是表示根据本发明再一实施例，利用 VIPA 为光提供可变色散装置的侧视图。现在参见图 21，用逆向反射器 282 代替聚焦透镜 252 和反射

镜 254 。最好是，逆向反射器 282 有两个或三个反射表面，并沿着与入射光传播方向相反的方向反射输入光。逆向反射器 282 的使用将会产生 VIPA-逆向反射器的配置，以加入反常色散。进而，逆向反射器 202 可相对于 VIPA 240 移动，用以改变色散量。

图 22 表示本发明的一个实施例，它是图 13 中装置与环形器组合在一起的顶视图。现在参见图 22 ，环形器 284 从输入光纤 286 处接收输入光，并将输入光提供给准直透镜 248 。由反射镜 254 反射并经由 VIPA 240 返回的输出光被环形器 284 接收，且被提供给输出光纤 288 。在图 22 中，聚焦透镜 252 是“正常”聚焦透镜，其中“正常”聚焦透镜是指从聚焦透镜的侧面和顶部看去都将光聚焦的聚焦透镜。

图 23 是表示本发明另一实施例的利用 VIPA 对于光添加色散的装置的顶视图。参见图 23 ，柱透镜 290 将 VIPA 240 输出的光线聚焦到反射镜 254 上。从顶部看时，反射镜 254 有轻微的倾斜（如图 23 ）。一输出光纤 294 将输出光传输到准直透镜 248 ，且输出光纤 294 接收从反射镜 254 反射并经由 VIPA 240 返回的光。因此，通过采用柱透镜 290 和倾斜反射镜 254 ，可不必使用环形器（如图 22 所示的环形器 284 ）。

根据本发明的前述实施例， VIPA 可提供比衍射光栅大得多的角色散。因此，这里描述的 VIPA 可以被用于补偿比图 6 （ A ）和 6 （ B ）空间光栅对配置大得多的色散。

在本发明的前述实施例中，反射镜被用于将光反射回 VIPA 240 内。于是，反射镜可以称为将光返回 VIPA 240 的“光返回器件”。但是，本发明不仅局限于用反射镜作为光返回器件。例如，棱镜（而非反射镜）可以用作将光返回 VIPA 240 的光返回器件。此外，反射镜和/或棱镜的各种组合或透镜装置可以用作使光返回 VIPA 的光返回器件。

在本发明的上述实施例中， VIPA 具有用于反射光的反射膜。例如，图 8 表示了一具有反射光的反射膜 122 和 124 的 VIPA 76 。但是， VIPA 并不局限于利用“膜”提供反射表面。然而 VIPA 必须有简便适用的反射表面，这些反射表面可以是或可以不是由“膜”形成的。

此外，在本发明上述实施例中， VIPA 包括一个透明玻璃板，在其中将发生多次反射。例如，图 8 表示了具有带反射表面的透明玻璃板 120 的

VIPA 76。但是，VIPA 并不局限于用玻璃材料或其它类型的平板来分离反射表面。然而反射表面必须用某些种间隔物简单地保持相互分开。例如，VIPA 的反射表面可以由“空气”分离开，而在其间不存在玻璃板。而且，反射表面可以被描述成由光学玻璃或空气等透明材料分割开的。

如上所述，VIPA 的工作性能对于 VIPA 反射表面之间透明材料的厚度与折射率敏感。此外，VIPA 的工作波长可以通过控制 VIPA 的温度而精确地调节。

更为具体地说，图 24 表示本发明一个实施例，它是用于控制 VIPA 温度的控制器的示意图。现在参见图 24，VIPA 300 产生一个输出光 302。一个温度传感器 304 检测 VIPA 300 的温度。根据检测到的温度，控制器 306 通过控制加热/冷却元件 308 来控制 VIPA 300 的温度，以调节 VIPA 300 的工作波长。

例如，提高和降低 VIPA 的温度可以稍稍改变输出光 302 的输出角度。而且，对应于特定输入光波长的输出光应该以一个精确的输出角从 VIPA 300 中输出。所以，用控制器 306 调节 VIPA 300 的温度，可以使输出光 302 以正确的输出角准确输出，并保持稳定。

根据本发明的上述实施例，一种装置采用 VIPA 来补偿色散。为此，本发明的实施例不局限于特定的 VIPA 结构。相反，任何在本文所述的、或在本文作为参考引证的相关美国专利申请 08/685,362 所公开的不同 VIPA 结构，均可用在一装置中补偿色散。例如，VIPA 可以有、也可以没有辐射窗，且 VIPA 各表面的反射率不局限于任何具体实例。

尽管已经描述了本发明的一些优选实施例，但是本领域的普通技术人员应该知道：这些实施例可以有各种变化，而不脱离本发明的原理和构思、权利要求书所限定的范围以及它们的等同物。

图 1(A)
（现有技术）

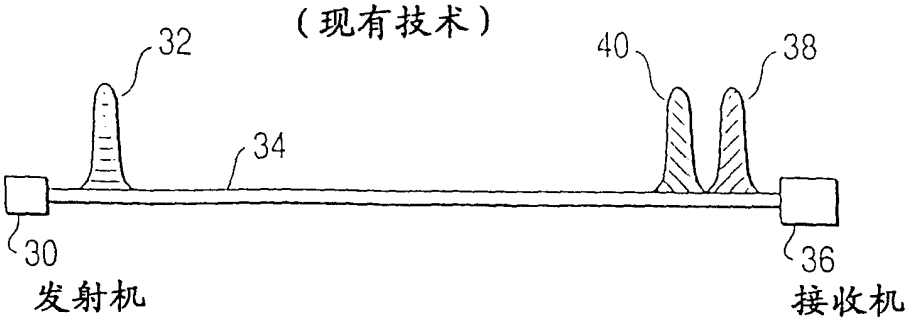


图 1(B)

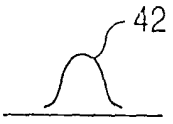


图 1(C)



图 2
（现有技术）

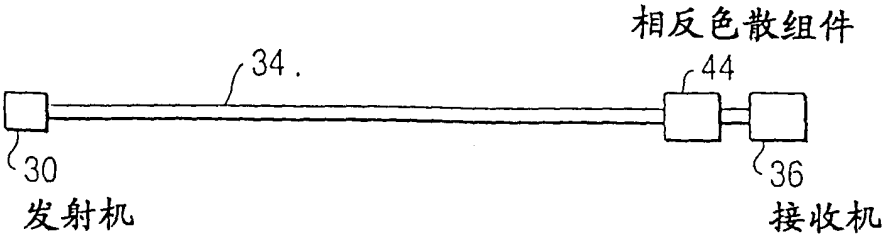


图 3

（现有技术）

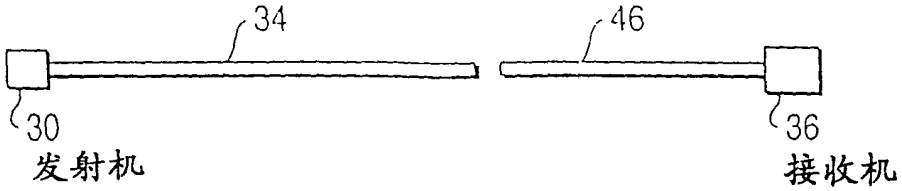


图 4

（现有技术）

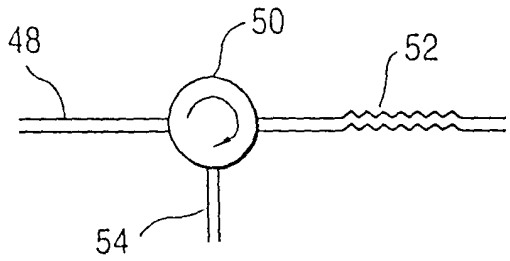


图 5

（现有技术）

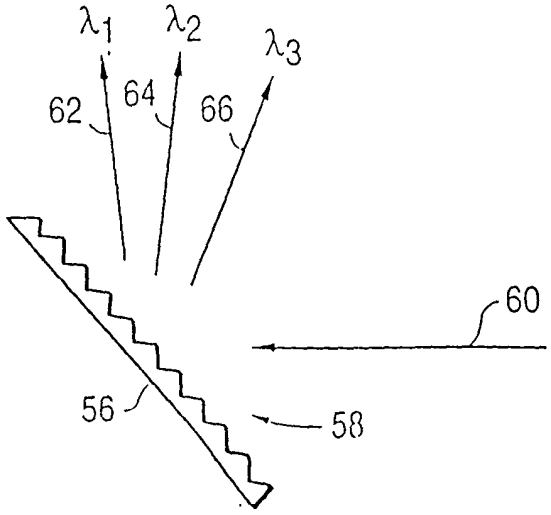


图 6(A)
（现有技术）

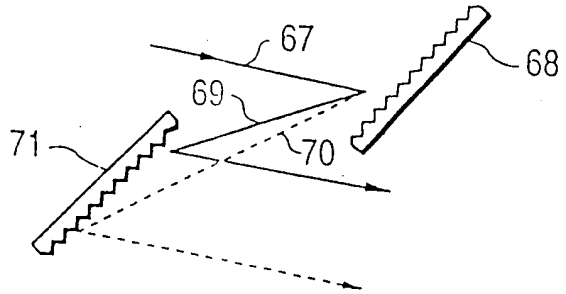


图 6(B)
（现有技术）

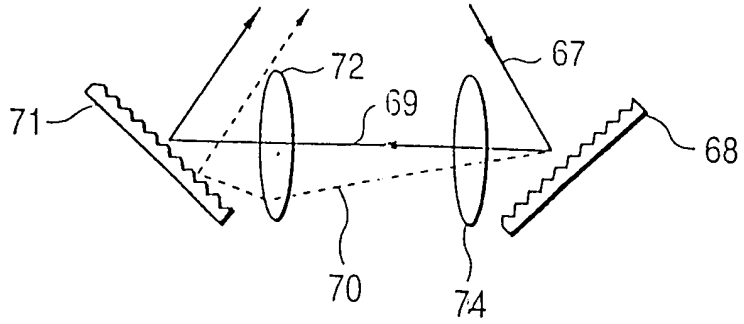


图 7

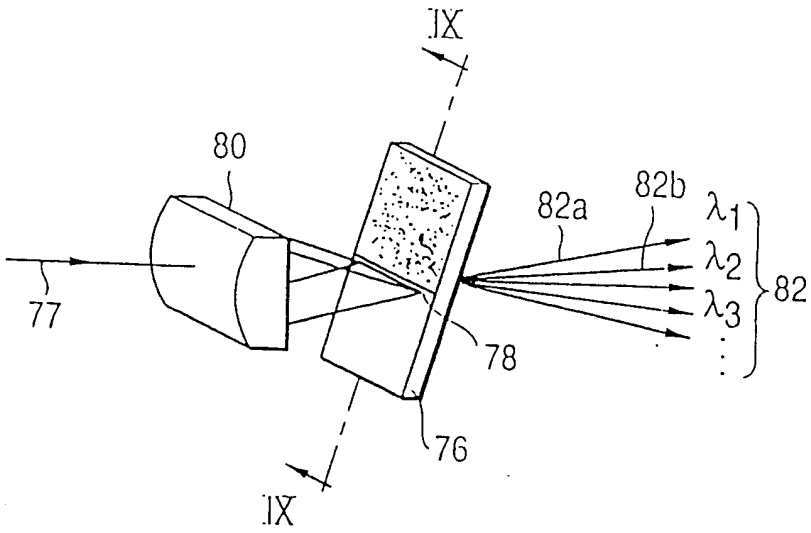


图 8

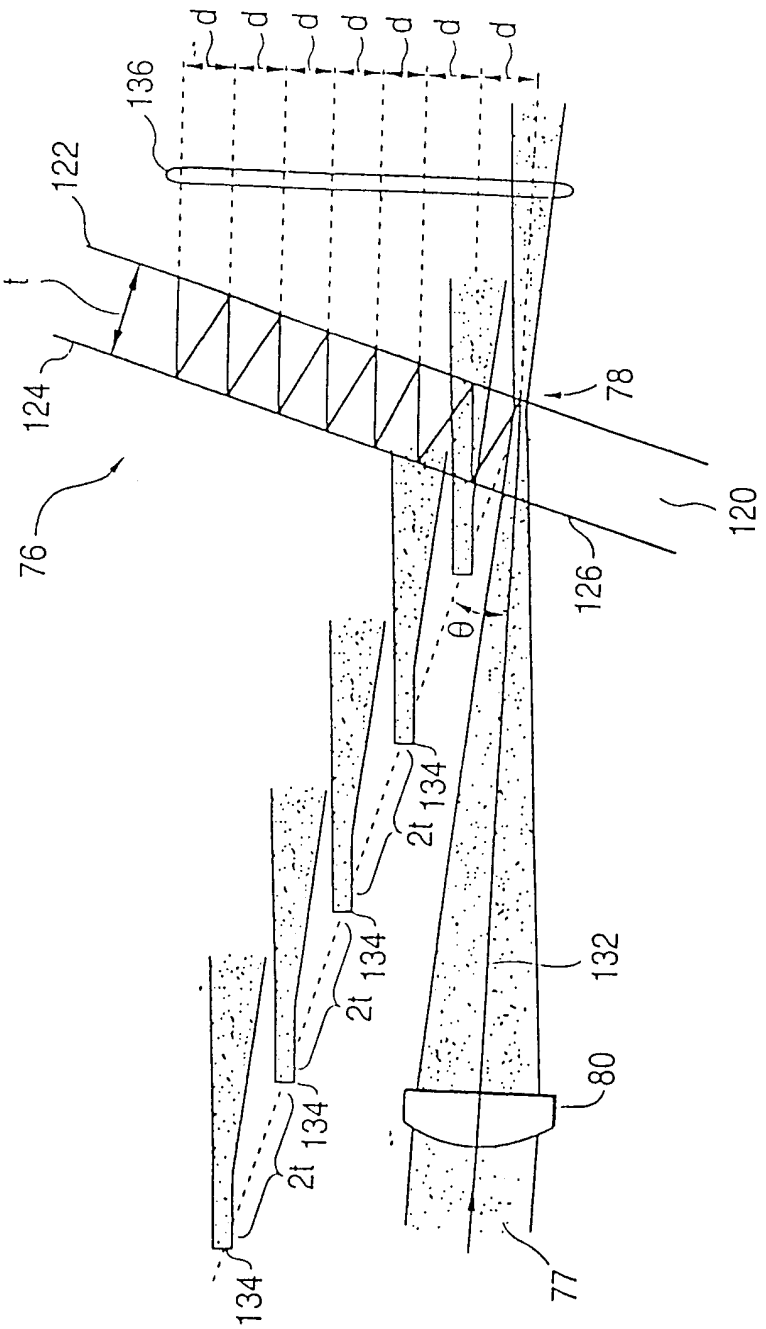

d
d
d
d
d
d
d
136
122
t
124
76
78
120
126
θ
134
2t
134
2t
134
2t
134
132
80
77

图 9

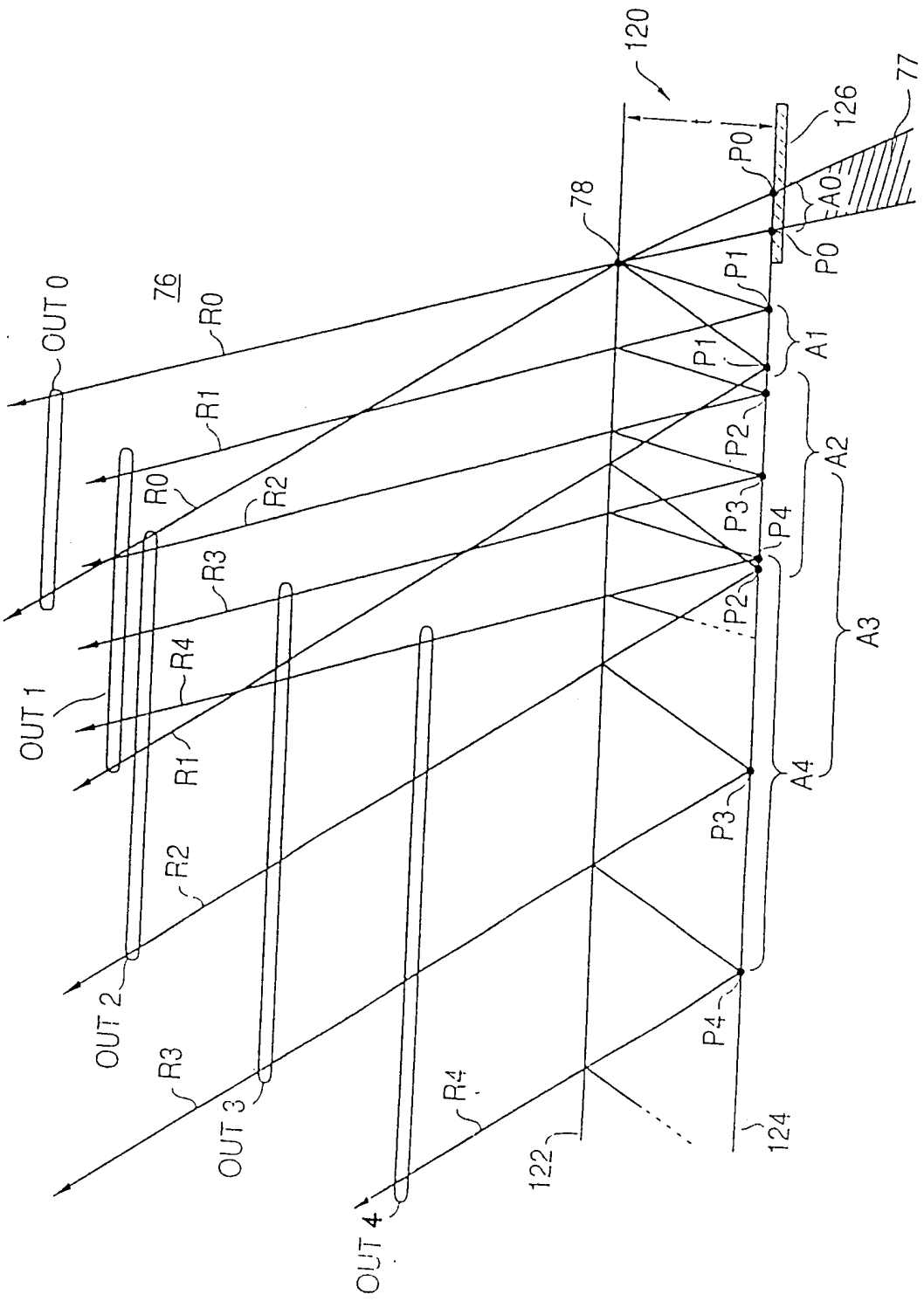

120
126
77
78
76
OUT 0
OUT 1
OUT 2
OUT 3
OUT 4
R0
R1
R2
R3
R4
P0
P1
P2
P3
P4
A0
A1
A2
A3
A4
122
124

图 10

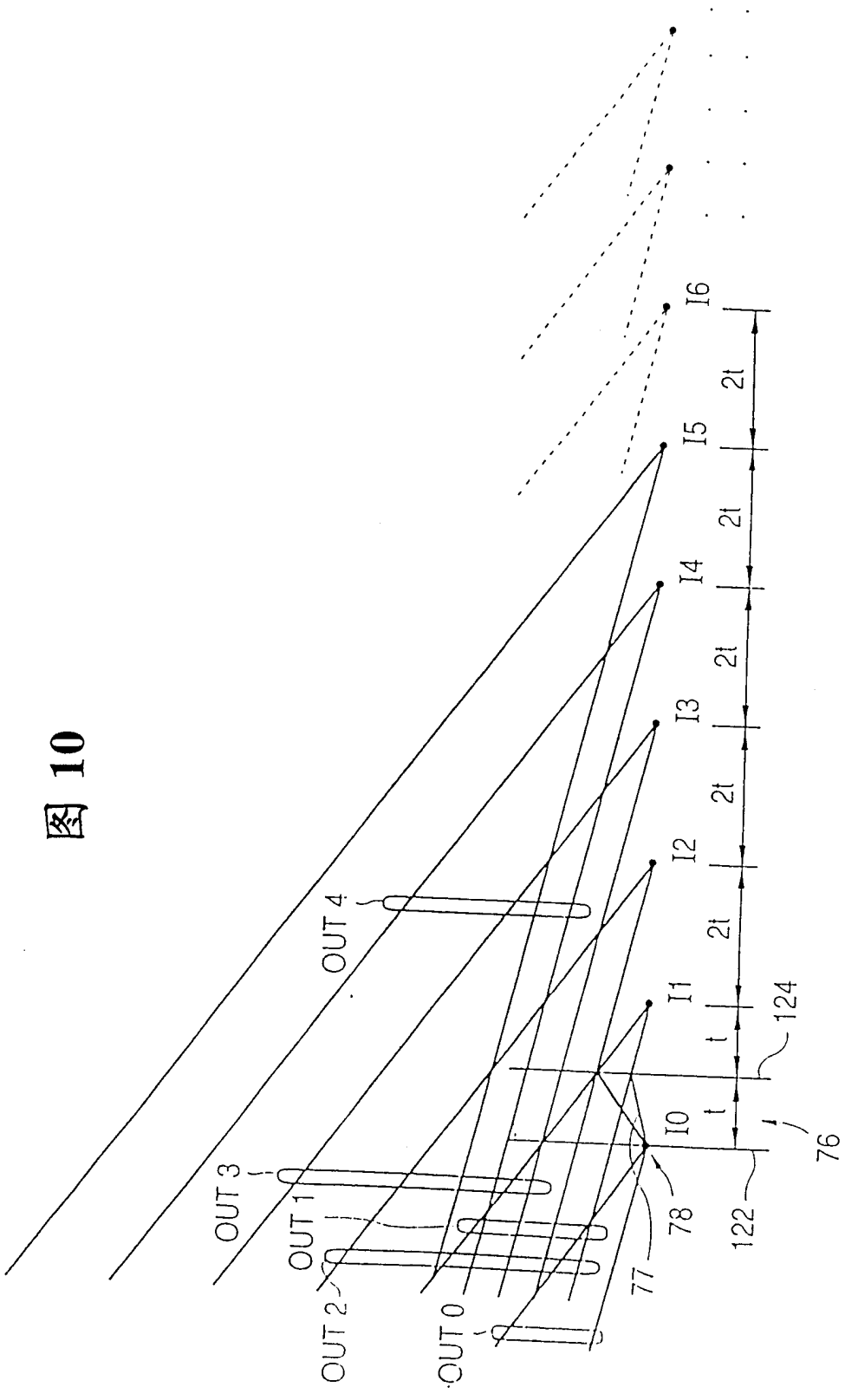


图 11

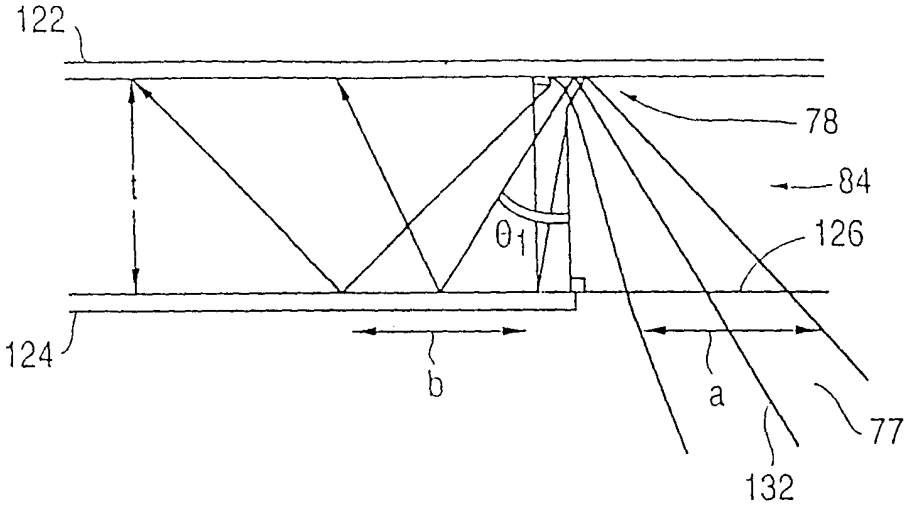

122
78
84
126
θ1
124
b
a
77
132

图 13

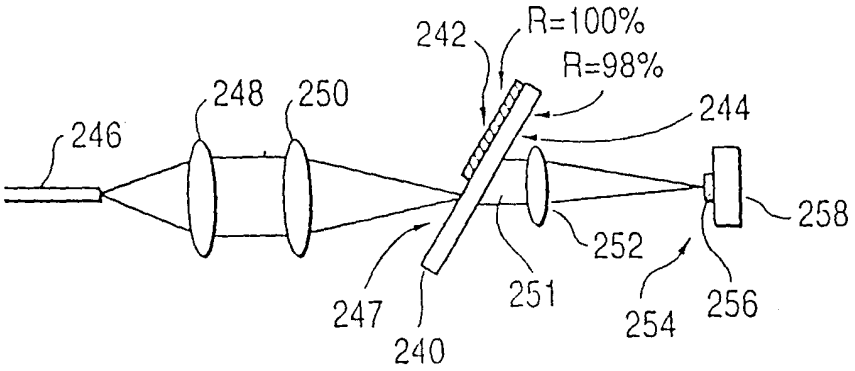

242
R=100%
R=98%
248
250
244
246
258
252
247
251
254
256
240

图 12(A)

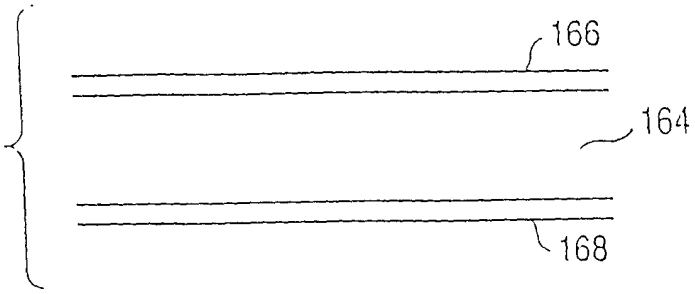


图 12(B)

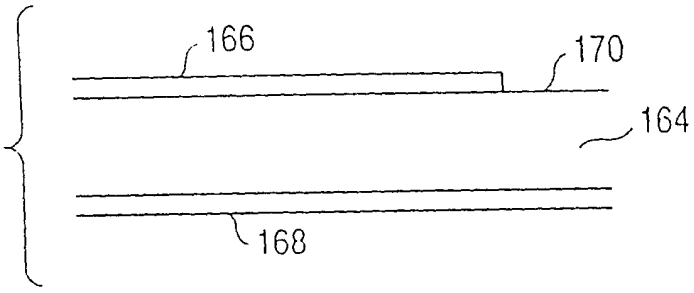


图 12(C)

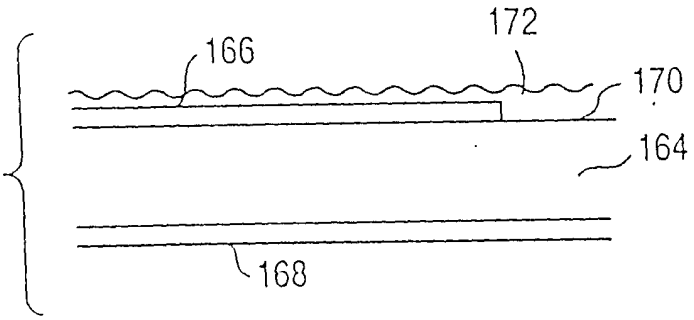


图 12(D)

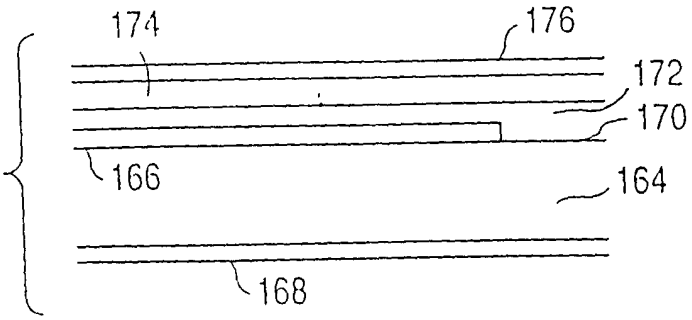


图 14

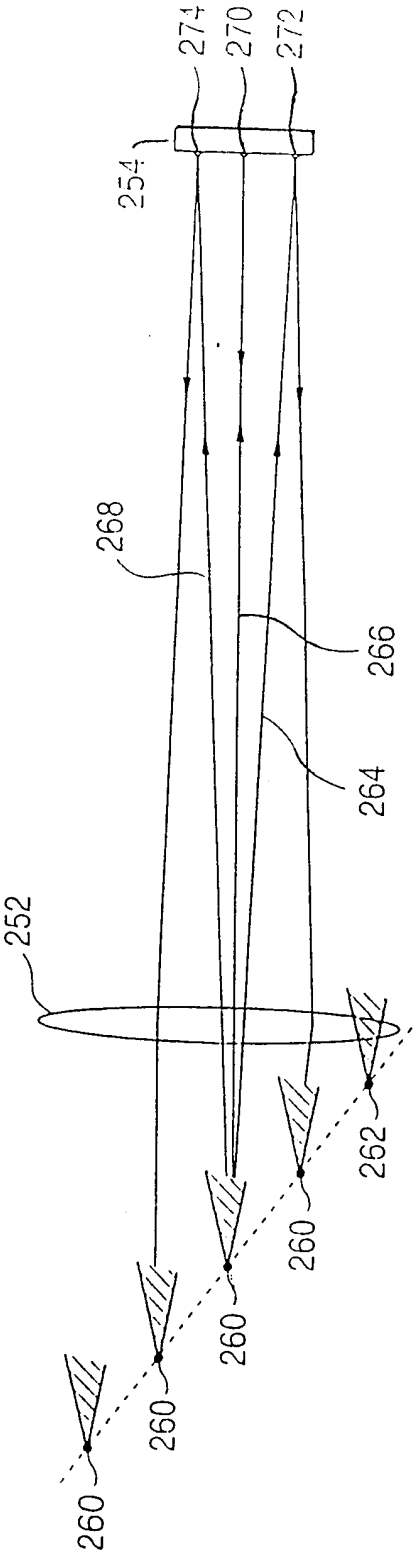


图 15

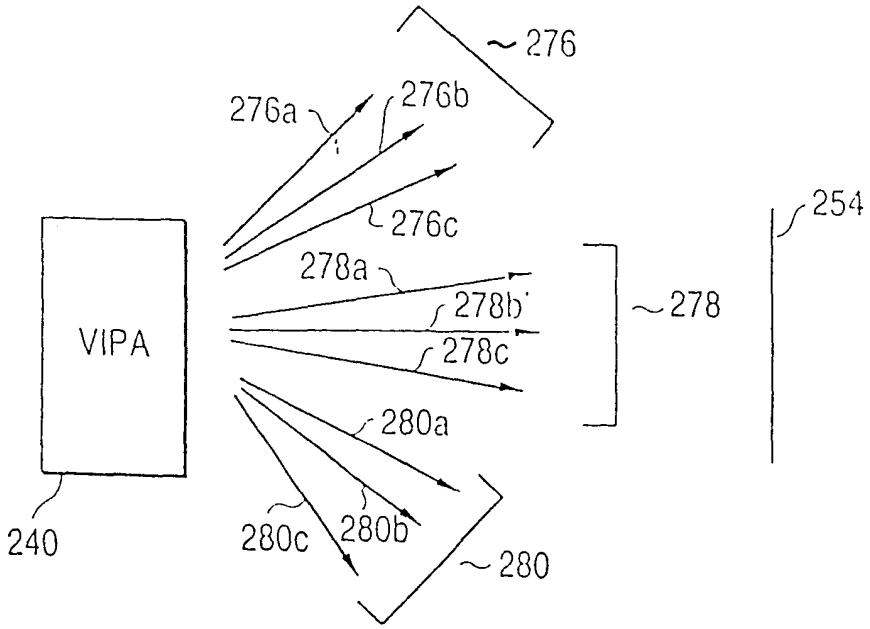
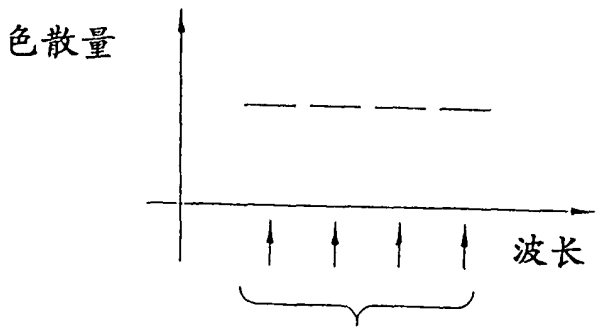


图 16



波分复用(WDM)光的通道

图 17

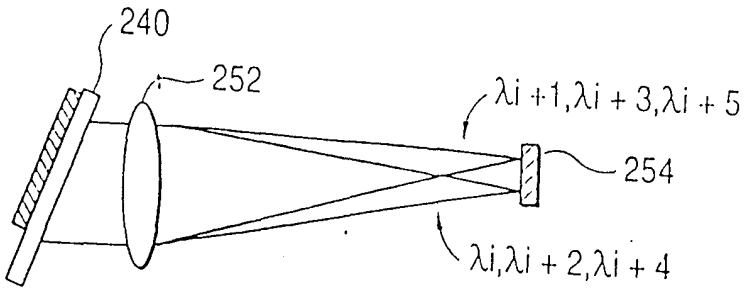

240
252
λi +1,λi + 3,λi + 5
254
λi,λi + 2,λi + 4

图 18

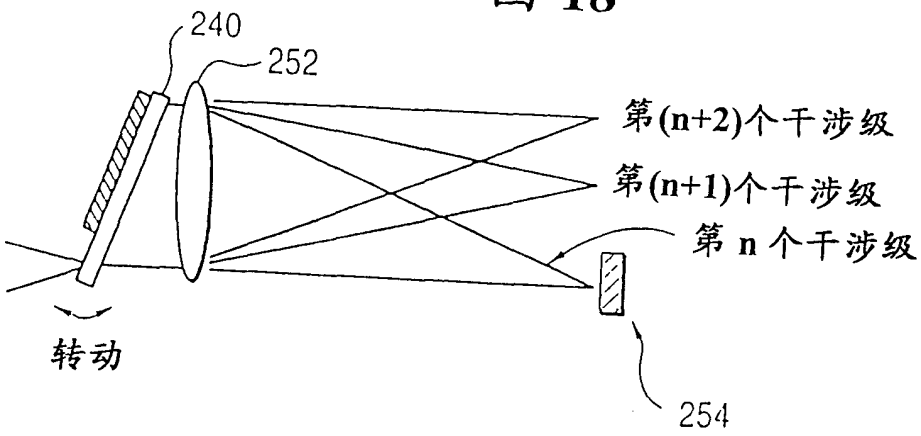

240
252
第(n+2)个干涉级
第(n+1)个干涉级
第 n 个干涉级
转动
254

图 19

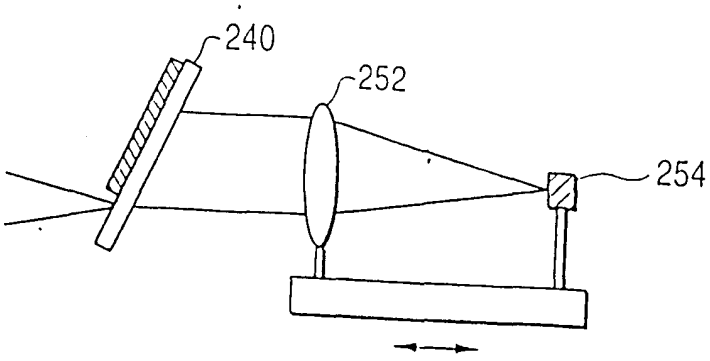

240
252
254

图 20(A)

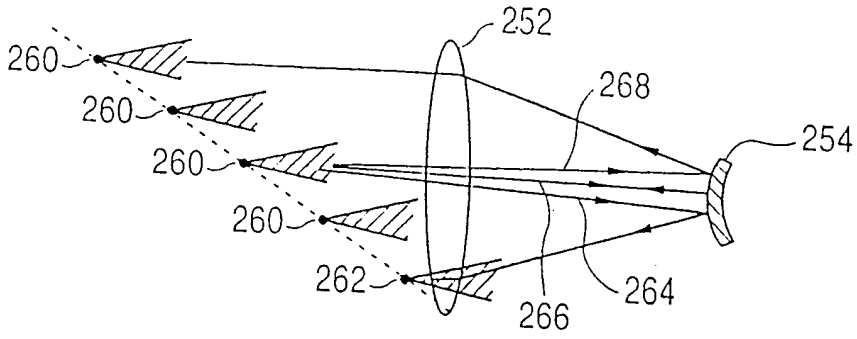

252
260
260
260
260
262
268
254
264
266

图 20(B)

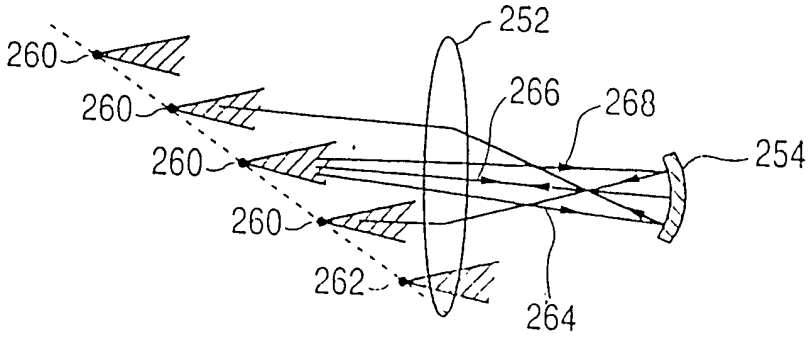

252
260
260
260
260
262
266
268
254
264

图 21

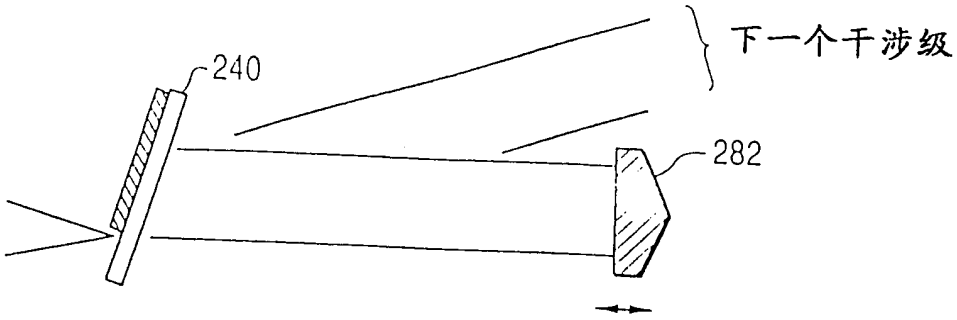

下一个干涉级
240
282

图 22

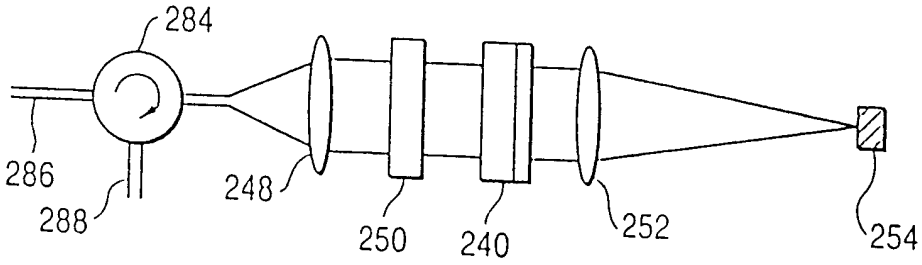

284
286
288
248
250
240
252
254

图 23

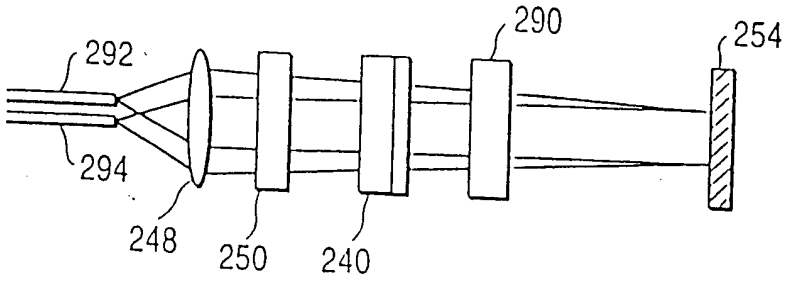

290
254
292
294
248
250
240

图 24

