

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 98813887.5

H01S 3/109 (2006.01)

H01S 3/07 (2006.01)

H01S 3/17 (2006.01)

H01S 3/10 (2006.01)

G03F 7/20 (2006.01)

[45] 授权公告日 2010年1月6日

[11] 授权公告号 CN 100578876C

[22] 申请日 1998.11.30 [21] 申请号 98813887.5

[30] 优先权

[32] 1998. 3. 11 [33] JP [31] 59453/1998

[32] 1998. 5. 13 [33] JP [31] 130580/1998

[32] 1998. 8. 11 [33] JP [31] 227333/1998

[32] 1998. 10. 30 [33] JP [31] 311147/1998

[86] 国际申请 PCT/JP1998/005367 1998.11.30

[87] 国际公布 WO1999/046835 日 1999.9.16

[85] 进入国家阶段日期 2000.9.11

[73] 专利权人 株式会社尼康

地址 日本东京

[72] 发明人 大槻朋子 大和壮一

[56] 参考文献

JP7 - 161625A 1995.6.23

JP5 - 46145U 1993.6.18

JP5 - 102565A 1993.4.23

JP6 - 77572A 1994.3.18

JP5 - 152691A 1993.6.18

JP5 - 3455A 1993.1.8

JP5 - 275793A 1993.10.22

JP9 - 162104A 1997.6.20

CN1065802A 1992.11.4

US5341445A 1994.8.23

审查员 任晓东

[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 王永刚

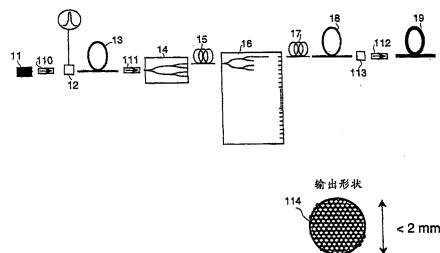
权利要求书 10 页 说明书 55 页 附图 18 页

[54] 发明名称

紫外激光装置以及使用该紫外激光装置的曝光装置和曝光方法

[57] 摘要

紫外激光装置，其特征在于包括：激光发生部分，它具有在红外区域到可见区域的波长范围内发生单一波长的激光的单一波长振荡激光器；光放大器，它具有放大由上述激光发生部分发生的激光的光纤放大器；波长变换部分，它使用非线性光学晶体把上述放大后的激光波长变换为紫外光，该紫外激光装置发生单一波长的紫外光。把掩模的图案转印到基板上的曝光装置中，包括光源和传送光学系统，其中光源具有：射出单一波长激光的激光装置、放大上述激光的第1光纤放大器、把上述已放大的激光分支为多路的光分支装置、分别放大上述多路分支光的第2光纤放大器；传送光学系统，把从上述光源射出的激光传送到曝光装置。



1. 一种紫外激光装置，包括：

激光发生部分，具有发生从红外区域到可见区域波长范围内单一波长激光的单一波长振荡激光器；

光放大器，具有多次放大由上述激光发生部分发生的激光的多个光纤放大器；及

波长变换部分，它具有：多个非线性光学晶体，用于把上述放大后的光波长变换为紫外光；和圆柱透镜对，其中被放大的光通过所述多个非线性光学晶体中的一个非线性光学晶体入射到该圆柱透镜对上，以及被放大的光通过该圆柱透镜对从所述一个非线性光学晶体入射到所述多个非线性光学晶体中的一个不同的非线性光学晶体上，

由此发生具有单一波长的紫外光。

2. 如权利要求 1 所述的装置，其特征在于：

上述激光发生部分包括振荡波长控制装置，用于把要发生的激光的振荡波长控制在一定波长。

3. 如权利要求 1 所述的装置，其特征在于还包括：

光分支装置，它把从上述激光发生部分发生的激光分开或分支。

4. 如权利要求 3 所述的装置，其特征在于：

上述光分支装置具有把从上述激光发生部分发生的激光互相并行分开或分支为多路的分离器，及

在上述分离器的输出一侧，设置相互长度不同的光纤。

5. 如权利要求 4 所述的装置，其特征在于：

上述相互长度不同的光纤的各长度被确定成使在这些光纤的输出端上的上述被并行分支后的激光的相互间的延迟间隔为一定。

6. 如权利要求 5 所述的装置，其特征在于：

上述相互长度不同的光纤的各长度被这样选择，使得在这些光纤的输出端上的上述被并行分支后的激光的相互间的延迟间隔成为入射到上述分离器的激光的重复频率和由上述分离器并行分支的光路数的

积的倒数。

7. 如权利要求 3 所述的装置，其特征在于：

上述光分支装置具有时分多路传输装置。

8. 如权利要求 1 所述的装置，其特征在于：

被设置在上述波长变换部分的入射一侧的上述光放大器的输出端部通过把光纤输出端部分的纤芯向着光纤输出端面扩展成锥形形成。

9. 如权利要求 1 所述的装置，其特征在于：

被设置在上述波长变换部分的入射一侧的上述光放大器的输出端部上具有被设置在光纤输出端部上的由上述光放大器放大后的激光透过的窗部件。

10. 如权利要求 1 所述的装置，其特征在于：

上述多个光放大器包括掺铒光纤放大器。

11. 如权利要求 1 所述的装置，其特征在于：

上述多个光放大器包括掺杂了铒以及镱的光纤放大器。

12. 如权利要求 3 所述的装置，其特征在于：

上述光放大器包括各自放大由上述光分支装置分支的多路光的多个光纤放大器。

13. 如权利要求 12 所述的装置，其特征在于：

上述光放大器包括控制所述多个分支的光所入射到的上述多个光纤放大器各自的激发强度的输出控制装置，使得上述紫外光的输出或者由所述多个分支的光所入射到的上述多个光纤放大器放大后的激光的其他输出被调整。

14. 如权利要求 12 所述的装置，其特征在于：

所述光放大器具有输出群，所述输出群通过将分别输出所述多个分支的光的所述多个光输出端的至少一部分捆扎起来而形成。

15. 如权利要求 14 所述的装置，其特征在于：

所述光放大器被形成，使得所述多个光输出端被分成多个输出群，所述多个输出群的至少一个通过捆扎所述多个光输出端的一部分形成。

16. 如权利要求 15 所述的装置，其特征在于：

所述多个光放大器的每一个被提供给一个输出群，且包括所述放大后的分支光从中透过的部件。

17. 如权利要求 15 所述的装置，其特征在于：

上述波长变换部分设置在上述光放大器的每一所述输出群上。

18. 如权利要求 1 所述的装置，其特征在于：

在上述波长变换部分的输入一侧具有使从上述光放大器射出的激光聚光在上述多个非线性光学晶体之一上的聚光光学元件。

19. 如权利要求 18 所述的装置，其特征在于还包括：

把上述激光分开或分支为多路光的光分开或分支装置，以及其中上述光放大器具有射出多路分支光的多个光输出端，及所述多个光输出端被分成多个被捆扎的输出群，以及上述聚光光学元件设置在每一所述输出群上。

20. 如权利要求 19 所述的装置，其特征在于：

上述聚光光学元件的设置通过把分别为每一输出群而捆扎的输出端形成为透镜实现。

21. 如权利要求 18 所述的装置，其特征在于还包括：

把上述激光分开或分支为多路光的光分开或分支装置，以及其中上述光放大器具有射出多路分支光的多个光纤输出端，及上述聚光光学元件分别设置在每个上述光纤输出端上。

22. 如权利要求 21 所述的装置，其特征在于：

上述聚光光学元件通过分别把上述多个光输出端形成为透镜设置。

23. 如权利要求 1 所述的装置，其特征在于：

上述激光发生部分发生具有在红外区域的波长范围内的单一波长的激光作为基波，以及上述波长变换部分发生 8 倍高次谐波或者 10 倍高次谐波作为紫外光，其是从所述光放大器输出的基波中获得的。

24. 如权利要求 23 所述的装置，其特征在于：

上述基波波长在 $1.51\mu\text{m}\sim 1.59\mu\text{m}$ 范围内，及上述波长变换部分发

生波长是 189nm~199nm 范围内的 8 倍高次谐波。

25. 如权利要求 24 所述的装置, 其特征在于:

上述基波波长在 1.544 μ m~1.552 μ m 范围内, 及上述波长变换部分发生波长在和 ArF 准分子激光器的振荡波长大致相同的 193nm~194nm 范围内的 8 倍高次谐波。

26. 如权利要求 23 所述的装置, 其特征在于:

上述波长变换部分具有发生通过和频发生来从上述基波和上述基波的 7 倍高次谐波中获得的上述基波的 8 倍高次谐波的 1 非线性光学晶体。

27. 如权利要求 26 所述的装置, 其特征在于:

上述波长变换部分具有:

第 2 非线性光学晶体, 它发生从上述基波中通过发生 2 次高次谐波获得的 2 倍高次谐波;

第 3 非线性光学晶体, 它发生从上述基波和上述 2 倍高次谐波中通过发生和频发生获得的上述基波的 3 倍高次谐波;

第 4 非线性光学晶体, 它发生从 2 倍高次谐波通过 2 次高次谐波发生获得的上述基波的 4 倍高次谐波; 及

第 5 非线性光学晶体, 它发生从上述基波的 3 倍高次谐波和上述基波的 4 倍高次谐波通过发生和频发生获得的上述基波的 7 倍高次谐波。

28. 如权利要求 27 所述的装置, 其特征在于:

上述第 1 至第 4 非线性光学晶体是 LiB₃O₅ 晶体,

上述第 5 非线性光学晶体是 β -BaB₂O₄ 晶体或者 CsLiB₆O₁₀ 晶体。

29. 如权利要求 23 所述的装置, 其特征在于:

上述基波波长在 1.51 μ m~1.59 μ m 的范围内, 且上述波长变换部分发生波长在 151nm~159nm 的范围内的 10 倍高次谐波。

30. 如权利要求 29 所述的装置, 其特征在于:

上述基波波长在 1.57 μ m~1.58 μ m 的范围内, 且上述波长变换部分发生波长在和 F₂ 准分子激光器的振荡波长相同的 157nm~158nm 的范

围内的 10 倍高次谐波。

31. 如权利要求 1 所述的装置，其特征在于：

上述激光发生部分发生具有红外区域的波长范围内的单一波长的激光作为基波，及上述波长变换部分发生把从上述光放大器输出的基波获得的 7 倍高次谐波作为紫外光。

32. 如权利要求 31 所述的装置，其特征在于：

上述基波波长在 $1.03\mu\text{m}\sim 1.12\mu\text{m}$ 的范围内，且上述波长变换部分发生波长在 $147\text{nm}\sim 160\text{nm}$ 的范围内的 7 倍高次谐波。

33. 如权利要求 32 所述的装置，其特征在于：

上述基波波长在 $1.099\mu\text{m}\sim 1.106\mu\text{m}$ 的范围内，且上述波长变换部分发生波长在和 F_2 准分子激光器的振荡波长相同的 $157\text{nm}\sim 158\text{nm}$ 的范围内的 7 倍高次谐波。

34. 如权利要求 1 所述的装置，其特征在于：

上述单一波长振荡激光器是 DFB 半导体激光器或光纤激光器。

35. 一种曝光装置，其将物体曝光于照明光之中，其特征在于它包括：如权利要求 1-34 的任一个所述的紫外激光装置，它产生具有单一波长的紫外光作为照明光；及

光学系统，它将从紫外激光装置发生的紫外光照射到物体上。

36. 如权利要求 35 所述的曝光装置，其特征在于所述光学系统包括：

照明光学系统，把从上述紫外激光装置射出的紫外光照射在图案上；

投影光学系统，把所述照射图案的图案图象投影在物体上。

37. 如权利要求 35 所述的曝光装置，其特征在于：

所述紫外激光装置被形成，使得所述光放大器具有多个被分成多个输出端群的光纤输出端，及所述波长变换部分将分别从所述多个输出端群射出的激光波长转换为紫外光，紫外光的一个部分用来曝光所述物体，及其剩余的部分不用于所述曝光。

38. 如权利要求 36 所述的曝光装置，进一步包括：

图案检测系统，它把从上述紫外激光装置射出的紫外光，照射在位于上述投影光学系统的物体一侧或者图象一侧的标记图案上。

39. 如权利要求 35 所述的曝光装置，其中所述紫外激光装置包括：光分开装置，将在所述光放大器至少被放大一次的激光分开或分支为多路分开或分支的光。

40. 如权利要求 39 所述的曝光装置，其特征在于：

所述光放大器多次放大多个分开或分支的光的每一个，以及所述紫外激光装置控制所述光放大器的至少一个光纤放大器。

41. 如权利要求 39 所述的曝光装置，其特征在于：上述紫外激光装置包括降低上述多个分支光的可干涉性的光学装置。

42. 如权利要求 1 所述的装置，其中所述激光发生部分包括光调制器，用于以从所述单一波长振荡激光器射出的连续光来发生脉冲光，并将脉冲光发生为所述激光。

43. 如权利要求 42 所述的装置，其特征在于还包括在多次放大所述脉冲光的所述多个光纤放大器之一的入射一侧设置的光分开或分支装置，所述光分开或分支装置分开或分支所述脉冲光成多个分开或分支的脉冲光，所述脉冲光通过不同于所述多个光纤放大器的所述一个的所述多个光纤放大器的部分放大，其中所述多个分开或分支的脉冲光入射到多个光纤放大器上，每个光纤放大器包括所述光纤放大器的所述一个。

44. 如权利要求 43 所述的装置，其特征在于进一步包括：

使上述被分开的多路脉冲光分别延迟后引导到被配置在上述分开或分支装置的后级上的所述多个光纤放大器上的延迟装置。

45. 如权利要求 1 所述的装置，其特征在于：在多次放大从所述的激光发生部分射出的激光的所述多个光纤放大器中的、至少位于最下行一侧的所述光纤放大器之一包括大模直径光纤。

46. 如权利要求 1 所述的装置，其特征在于：

多次放大从激光发生部分射出的激光的多个光纤放大器的至少一个包括石英光纤、硅酸盐系列光纤，以及氟化物系列光纤之一。

47. 如权利要求 1 所述的装置，其特征在于：

至少一部分所述光放大器可接单组代替。

48. 如权利要求 1 所述的装置，其特征在于：

在多次放大从所述的激光发生部分射出的激光的所述多个光纤放大器中的、至少位于最下行一侧的所述光纤放大器之一包括 ZBLAN 光纤。

49. 如权利要求 1 所述的装置，其特征在于：

所述多个非线性光学晶体包括至少一个用于非严格相位匹配的非线性光学晶体。

50. 如权利要求 35 所述的曝光装置，其特征在于所述光学系统包括：照明光学系统，它将从紫外激光装置射出的紫外光照射到图案上；

所述曝光装置还包括调整装置，用于调整上述紫外光的强度、以及波长的至少一个。

51. 如权利要求 50 所述的曝光装置，其特征在于：上述调整装置具有控制施加在上述激光发生部分的光调制元件上的控制脉冲的大小的第一控制装置。

52. 如权利要求 50 所述的曝光装置，其特征在于：上述调整装置具有控制多次放大激光的所述多个光纤放大器的至少一个的增益的第二控制装置。

53. 如权利要求 50 所述的曝光装置，其特征在于：上述调整装置具有控制上述紫外激光装置的温度第三控制器。

54. 如权利要求 35 所述的曝光装置，其特征在于进一步包括：校准系统，用于通过使用紫外光检测标记；传送系统，用于引导从所述紫外激光装置射出的紫外光的至少一部分。

55. 如权利要求 54 所述的曝光装置，其特征在于：上述传送系统包括把从所述紫外激光装置射出的紫外光分别导入上述照明光学系统和上述校准系统的第一和第二光纤。

56. 如权利要求 55 所述的曝光装置，其特征在于进一步具备：所述波长变换部分包括第一部分，用于发生入射到所述照明光学系统的

紫外光,并位于多次放大激光的所述多个光纤放大器和上述光纤之间,或者上述光纤和上述照明光学系统之间。

57. 如权利要求 56 所述的曝光装置,其特征在于:上述第一部分被设置在上述第一光纤和上述照明光学系统之间,并且和上述照明光学系统的至少一部分保持为一体。

58. 如权利要求 56 所述的曝光装置,其特征在于:上述波长变换部分包括第二波长变换部分,用于发生入射到所述校准系统的紫外光,并设置在多次放大激光的所述多个光纤放大器和上述第二光纤之间,或者上述第二光纤和上述校准系统之间。

59. 如权利要求 58 所述的曝光装置,其特征在于:上述第二部分被设置在上述第二光纤和上述校准系统之间,并且和上述校准系统的至少一部分保持为一体。

60. 如权利要求 1 所述的装置,其特征在于:所述单一波长振荡激光器脉冲调制具有第一脉冲宽度的光,及所述激光发生部分包括发生具有小于第一脉冲宽度的第二脉冲宽度的脉冲光的光调制器。

61. 如权利要求 1 所述的装置,其特征在于进一步包括:控制装置,它控制所述激光发生部分和上述光放大器的至少一个,以控制或调整所述紫外光的强度和波长中的至少一个。

62. 如权利要求 50 所述的装置,其特征在于:

上述调整装置进行上述单一波长振荡激光器的电流控制。

63. 一种器件制造方法,其特征在于包括:使用权利要求 35 所述的曝光装置,将器件图案转印到感光基板上的步骤。

64. 一种曝光方法,其特征在于包括步骤:将从根据权利要求 1-34 及 42-44 的任一个的紫外激光装置射出的紫外光照射到掩模上;及经过所述掩膜以所述紫外光曝光基板。

65. 如权利要求 1 所述的装置,其特征在于:

所述激光器发生部分发生在 $1.51\mu\text{m}\sim 1.59\mu\text{m}$ 的范围内单一波长脉冲光作为激光。

66. 如权利要求 65 所述的装置,其特征在于:至少一部分光放大

器可按单组替代。

67. 如权利要求 66 所述的装置，其中所述多个非线性光学晶体包括至少一个非线性光学晶体，其相位校准角通过调整温度而调整。

68. 如权利要求 66 所述的装置，还包括设置在所述脉冲光通过的光路上的快门装置。

69. 如权利要求 68 所述的装置，其中所述多个非线性光学晶体包括至少一个非线性光学晶体，其相位校准角通过调整温度而调整。

70. 如权利要求 65 所述的装置，还包括设置在所述脉冲光通过的光路上的快门装置。

71. 如权利要求 70 所述的装置，其中所述快门装置包括电学/光学调制元件或声音/光学调制元件。

72. 如权利要求 70 所述的装置，其中所述多个非线性光学晶体包括至少一个非线性光学晶体，其相位校准角通过温度调整来调整。

73. 如权利要求 65 所述的装置，其中所述多个非线性光学晶体包括至少一个非线性光学晶体，其相位校准角通过温度调整来调整。

74. 如权利要求 73 所述的装置，其中其温度被调整的所述非线性光学晶体包括在所述多个非线性光学晶体中至少位于在光学上最下行的一侧的非线性光学晶体。

75. 如权利要求 66 - 74 的任意一个所述的曝光装置，还包括用于抑制单一波长振荡激光器和波长变换部分之间的光波长宽度的扩张的光学装置。

76. 如权利要求 75 所述的曝光装置，其中所述光学装置通过减小所述多个光纤放大器的至少一个的光纤长度，抑制由于至少一个光纤放大器的非线性效应引起的波长宽度的扩张。

77. 如权利要求 76 所述的装置，其中其光纤长度减小的所述光纤放大器包括在所述多个光纤放大器中至少位于在光学上最下行一侧的光纤放大器。

78. 如权利要求 76 所述的装置，其中所述光学装置包括窄带滤波器和位于所述单波振荡激光器和波长变换部分之间的隔离器的至少一个。

79. 如权利要求 76 所述的装置，其中所述光学装置的至少一部分位于所述多个光纤放大器之间。

80. 如权利要求 75 所述的装置，其中所述光学装置包括窄带滤波器和位于所述单波振荡激光器和波长变换部分之间的隔离器的至少一个。

81. 如权利要求 75 所述的装置，其中所述光学装置的至少一部分位于所述多个光纤放大器之间。

82. 如权利要求 81 所述的装置，其中所述光学装置包括窄带滤波器和位于所述单波振荡激光器和波长变换部分之间的隔离器的至少一个。

紫外激光装置以及使用 该紫外激光装置的曝光装置和曝光方法

本发明涉及激光装置，特别涉及如在制造半导体元件、液晶显示元件、摄像元件（CCD等），以及薄膜磁头等微型部件的光刻工艺中使用的曝光装置用光源那样，可以发生能用低相干性抑制斑点的发生的紫外光的激光装置以及使用这种紫外激光装置的曝光装置。

随着信息机器的进步，要求半导体集成电路充实功能、提高存储容量、小型化，因此需要提高集成电路的集成度。为了提高集成度就应该减小各个电路图案，但电路的最小结构尺寸，一般由在制造过程中使用的曝光装置的性能决定。

光刻采用的曝光装置，是把精确描绘在光掩模上的电路图案，用光学方法缩小投影在涂布了光刻胶的半导体晶片上转印。在该曝光时的晶片上的最小图案尺寸（析象度） R ，根据在曝光装置中用于投影的光源的波长 λ 、投影光学系统的数值孔径 NA 由下式（1）表示，另外焦深 DF 由下式（2）表示。

$$R=K \cdot \lambda / NA \quad \dots \dots (1)$$

$$DF=\lambda / \{2 \cdot (NA)^2\} \quad \dots \dots (2)$$

从上式（1）可知，为了减小最小图案尺寸 R ，有减小其常数 K 、增大数值孔径 NA 、减小投影光源的波长 λ 的3种办法。

其中常数 K 是由投影光学系统和工艺决定的常数，通常取0.5~0.8的值。减小该常数 K 的方法，被称为广泛意义上的超析象技术。以前，已有投影光学系统的改良、变形照明、相移掩模法等提案和研究。但是，存在在可以适用的图案方面有限制的难点。另一方面，数值孔径 NA 从式（1）可知其值越大可以使最小图案尺寸 R 越小，但从式（2）可知这意味着焦深变浅了。因此， NA 值增大也受到限制，通常从兼顾这两者出发设置0.5~0.6的程度比较合适。

因而，使最小图案尺寸 R 减小的最简单最有效的方法是缩短用于曝光的光的波长 λ 。在此配合实现短波化，在制造曝光装置的光源方面有几个应该具备的条件。以下说明这些条件。

作为第 1 条件，要求数瓦的光输出。这是为了保持短的集成电路图案的曝光、转印所需要的时间所必须的。

作为第 2 条件，在波长 300nm 以下的紫外光的情况下，可以作为曝光装置的透镜使用的材料受到限制，颜色象差难以修正。因此需要光源的单色性，要求光谱的线宽度在 1pm 以下。

作为第 3 条件，因为伴随该光谱线宽度的窄带化时间性相干（干涉性）增高，所以如果直接照射窄线宽的光，则产生被称为斑点的不需要的干涉图案。因而为了抑制该斑点发生，需要在光源中降低其空间相干性。

为了满足这些条件，实现高析象度，对曝光光源的短波化已开发了很多方案。此前研究短波化的方向主要分为以下 2 种。其一，是把激光器的振荡波长自身是短波的准分子激光器适用于曝光装置的开发，再一，是利用发生红外或者可见光激光的高次谐波的短波长曝光光源的开发。

其中，作为使用前一方法已实用化的短波光源，使用 KrF 准分子激光器（波长 248nm），现在进一步开发使用 ArF 准分子激光器（波长 193nm）作为短波长的光源的曝光装置。但是，存在这些准分子激光器体积大，由于每一脉冲的能量大容易发生光学部件损伤，以及因为使用有毒的氟气所以激光器的维护复杂并且费用高昂等问题。

另外作为后一方法，有利用非线性光学晶体的 2 次非线性光学效果，把长波长的光（红外光、可见光）变换为更短波长的紫外光的方法。例如在「Longitudinally diode pumped continuous wave 3.5W green laser (L.Y.Liu, M.Oka, W.Wiechmann and S.Kubota, Optics Letters, vol.19 (1994), p189)」中，揭示了波长变换来自半导体激发的固体激光器的光的激光源。在此以往例中记述了，Nd: 用非线性光学晶体波长变换 YAG 激光器发出的 1064nm 的激光，产生 4 倍高次谐

波的 266nm 的光的方式。进而，所谓固体激光器，是激光介质是固体的激光器的总称。因而从广义上讲，半导体激光器也包含在固体激光器中，而通常所说的固体激光器，是指例如 Nd: 如 YAG 激光器和红宝石激光器那样用光激发的固体激光器，在此也那样区分。

另外，在使用固体激光器作为曝光装置的光源的例子中，提出了把由发生激光的激光发生部分，和将来自该激光发生部分的光波长变换为紫外光的波长变换部分构成的激光器要素，捆扎多个矩阵形状的阵列激光器的提案。例如，在特开平 8-334803 号公报中，揭示了用设置在波长变换部分上的非线性光学晶体波长变换来自具备半导体激光器的激光发生部分的光，把发生紫外光的一个激光器要素捆扎成多条矩阵形状（例如 10×10 ）作为一个紫外光源的阵列激光器的例子。

在上述那样构成的阵列激光器中，通过捆扎多根各自独立的激光器要素，就可以在压低每个激光器要素的光输出的同时，提高装置整体的光输出能力。因此可以减轻非线性光学元件的负担。但是，在另一方面，因为每个激光要素是独立的，所以在考虑适用到曝光装置中时，要求在激光要素全体中其振荡光谱一致。例如，即使每个激光要素其振荡光谱线宽度在 1pm 以下，在多个激光要素全体中，相互的波长的差不允许是 3pm，全部宽度需要设置在 1pm 以下。

因此，例如，为了使各激光器要素自律地以同一波长的单一纵模振荡，就需要调整每个激光要素的共振器长度，或者在共振器中插入波长选择元件。但是，这些方法，存在其调整微妙，构成的激光要素越多要使全体以同一波长振荡的结构越复杂等的问题。

另一方面，作为使这些多个激光器主动地单一波长化的方法有公知的注入籽晶法（例如，根据 Walter Koechner 的 *Solid-state Laser Engineering*, 3rd Edition, Springer Series in Optical Science, Vol.1, Springer-Verlag, ISBN 0-387-53756-2, p246-249）。这是通过把来自振荡光谱线宽度窄的单一的激光源的光分支到多个激光要素中，把该激光作为感应波使用，由此调谐各激光要素的振荡波长，并且使光谱线宽度窄区域化的方法。但是在这种方法中，存在由于需要设置使

激光分支到各激光要素中的光学回路，和振荡波长的调谐控制部分，因而构造变得复杂的问题。

进而，这种阵列激光器，与以往的准分子激光器相比可以使装置整体非常小，但即使如此，要把阵列整体的输出光束系统限制在数厘米以下封装是困难的。另外，在这样构成的阵列激光器中存在，因为每个阵列都需要波长变换部分所以价格高；当在构成阵列的激光要素的一部分中产生直线偏差的情况下，和在构成的光学元件中产生损伤的情况下，为了进行该激光要素的调整，就需要分解一次阵列全体取出该激光要素，在调整后再次重新组装阵列等的问题。

本发明，就是考虑了上述各技术问题而提出的，例如，作为曝光装置的紫外光源在使用准分子激光器的情况下产生的问题，如装置的大型化、有毒氟气的使用、维护的复杂和价格高等的诸问题；作为曝光装置的紫外光源在使用例如 Nd: YAG 激光器等的固体激光器的高次谐波时考虑的非线性光学晶体的损伤、伴随空间相干性的增加产生斑点等的问题，另外作为曝光装置的紫外光源，在使用把发生紫外光的多个激光要素捆扎成矩阵形状的阵列激光器时，考虑到的包含调谐机构的构造复杂和输出光束直径小型化困难、维护复杂等的问题。

即，本发明的目的在于，作为曝光装置的光源提供一种可以把充分窄区域化的单一波长的紫外光，作为空间相干性低的紫外光输出稳定地发生，并且紧凑容易操作的紫外激光装置。另外，提供一种把这样小型容易操作的紫外激光装置作为光源使用的紧凑并且自由度高的曝光装置。

上述目的以具有以下构成为特征的紫外激光装置实现：激光发生部分，发生单一波长的光；光放大器，具有放大上述发生的激光的光纤放大器的至少一级；波长变换部分，其用非线性光学晶体把由上述光放大器放大后的光波长变换为紫外光。

更具体地说，其结构设置成：在激光发生部分中具备窄区域化后的单一波长振荡激光器（例如在实施方案中的 DFB 半导体激光器 31 等），用光纤放大器（例如实施方案中的掺铒光纤放大器等 33、34 等）

放大此单一波长的激光，用使用非线性光学晶体（例如在实施方案中的 503~505 等）的波长变换部分把从该光纤放大器输出的光变换为紫外光（例如，波长 193nm 和 157nm 的紫外光）。用作为本发明的目的的紧凑的结构，提供操作容易的，发生单一波长紫外光的紫外激光器。

另外，在本发明中，用光分支装置分支单一波长振荡激光器（例如在实施方案中的 DFB 半导体激光器 11、12 和光纤激光器等）的输出。用该光分支装置（例如在实施方案中的分离器 14、16 等）分支为多个输出，在其后设置光纤，通过捆扎这些光纤形成紫外激光装置。进而作为光分支装置，也可以把单一频率激光器发生的激光并行分支为多路的装置。

另外通过配备在时间上不重合的装置，就可以得到相互独立的光。为此作为最适合的装置，设置成：在具有把由单一波长激光器发生的激光并行分支成多路的光束分离器的同时，在该光束分离器的光射出一侧设置长度不同的光纤。作为相互长度不同的光纤最理想的形态，设置例如各纤维的长度为在被并行分支的激光通过该光纤之后，在光纤输出端上相互的延迟间隔为大致一定间隔。

另外，作为本发明的一形态，作为光分支装置，另外，还使用在每隔规定时间向各光路分配光的分时光分支装置（Time Divison Multiplexer: TDM）（例如在实施方案中的 TDM23）。

接着，作为被设置在光分支装置的输出一侧的多条光纤，最好配备多个光纤放大器。最好用该光纤放大器（例如在实施方案中的掺铒光纤放大器和掺镱光纤放大器 18、19 等）放大，进而最好捆扎这些光纤放大器。这样做，就可以得到更高光强度的激光。进而，在这些光纤放大器的输出端（例如在实施方案中的光纤输出端 114、29 等）上，也可以根据需要适宜地连接无掺杂的光纤。

该光纤输出端部，希望设置成向着其输出端面光纤的纤芯直径成锥形缓慢扩大（例如在实施方案中的图的纤芯 421）。另外，最好在光纤输出端部设置使激光透过的窗部件（例如在实施方案中的窗部件 433、443 等）构成。通过这样构成，就可以降低在光纤输出端面上的

激光的功率密度（每单位面积的光强度），因而，可以抑制光纤输出端部的损伤。

进而在本发明中，在波长变换部分的光入射一侧具备的多根光纤中，最好使该光纤的输出端和波长变换部分的构成一致，把 1 根或者捆扎为多根线束形状作为一个或者多个输出群形成（例如在实施方案中的线束输出 114、29、501、601、701 等）。而后，在波长变换部分中，用 1 组或者多组非线性光学晶体（例如实施方案 4 中的 502~504 和实施方案 4 中的 842~844）发生基波的高次谐波输出紫外光（例如，波长 193nm 和 157nm 的紫外光）。通过把波长变换部分设置成一组就可以使构成小型并且经济，另外，因为通过把波长变换部分设置成多组就可以减少每一组的负荷，所以作为整体可以实现高输出化。

进而，在用多个光纤放大器构成光放大器时，为了抑制伴随在各光纤放大器中的放大率的离散的紫外光输出的离散，希望设置监视来自各光纤的输出光控制各光纤放大器的激发强度的光纤输出控制装置。另外，为了用特定波长使紫外光输出的光波长为一定，最好用基波或者波长变换部分中的高次谐波的频率设置单一波长振荡激光器的振荡波长控制装置。

在波长变换部分的输入一侧，设置聚光光学元件构成。该聚光光学元件的使用形态，可以根据光放大器的输出状况适宜确定，例如可以适用于对每一光纤输出配置聚光光学元件（例如在实施方案中的透镜 902、453 等），另外对被捆扎成线束形状的每一输出群配置聚光光学元件（例如在实施方案中的透镜 845、855、463 等）等的使用形态。

可是，作为用于使紫外光输出的构成，例如是作为激光发生部分发射波长 1.5 μm 附近的激光的结构，作为光放大器至少配备 1 级具有放大波长 1.5 μm 附近的基波的光纤放大器的光放大器，并且由发生被放大后的基波的 8 倍高次谐波的波长变换部分构成。通过这样构成，就可以发生输出波长 190nm 附近的紫外光。而后该输出光，通过进一步细致规定（例如 1.544~1.522 μm ）激光发生部分的振荡波长，就可以设置成和 ArF 准分子激光器同样波长的 193nm。

另外，作为用于输出紫外光的其他构成，例如和上述例子一样作为激光发生部分设置成发射波长 $1.5\ \mu\text{m}$ 附近的激光的结构，作为光放大器至少配备 1 级具有放大波长 $1.5\ \mu\text{m}$ 附近的基波的光纤放大器的光放大器，并且由发生被放大后的基波的 10 倍高次谐波的波长变换部分构成。通过这样构成，就可以发生输出波长 150nm 附近的紫外光。而后该输出光，通过进一步细致规定（例如 $1.57\sim 1.58\ \mu\text{m}$ ）激光发生部分的振荡波长，就可以设置成和 F_2 激光器同样波长的 157nm 。

进而，作为用于输出紫外光的其他构成，例如作为激光发生部分设置成发射波长 $1.1\ \mu\text{m}$ 附近的激光的结构，作为光放大器至少配备 1 级具有放大波长 $1.1\ \mu\text{m}$ 附近的基波的光纤放大器的光放大器，并且由发生被放大后的基波的 7 倍高次谐波的波长变换部分构成。通过这样构成，就可以发生输出波长 150nm 附近的紫外光。而后该输出光，通过进一步细致规定（例如 $1.099\sim 1.106\ \mu\text{m}$ ）激光发生部分的振荡波长，就可以设置成和 F_2 激光器同样波长的 157nm 。

进而，作为用于输出紫外光的其他构成，通过例如由具有振荡波长是 990nm 附近的半导体激光器或者光纤激光器的激光发生部分，和具有放大波长 990nm 附近的基波的光纤放大器的至少一级的光放大器，和发生被放大后的基波的 4 倍高次谐波的波长变换部分构成，就可以得到和 KrF 准分子激光器一样波长 248nm 的紫外光。

进行这种高次谐波发生的波长变换部分的构成，可以取如实施方案中详细叙述的各种构成。例如对于发生基波的 8 倍高次谐波的波长变换部分如果简单地说明其构成，则可以在全部的波长变换级中利用非线性光学晶体的 2 次高次谐波发生（SHG），可以用设置成基波→2 倍高次谐波→4 倍高次谐波→8 倍高次谐波的 3 级高次谐波发生光路系统（例如实施方案 4 中的图 11（a）等）构成。该构成可以用最少的构成级数得到所希望的 8 倍高次谐波。

另外作为可以得到 8 倍高次谐波的另一适宜的构成，设置成在波长变换级上一并使用非线性光学晶体的和频发生（SFG），生成基波的 3 倍高次谐波和 4 倍高次谐波，把它们通过发生和频发生基波的 7 倍

高次谐波，进而把该 7 倍高次谐波和基波通过发生和频发生基波的 8 倍高次谐波（例如实施方案 4 中的图 11（d）等）。该构成在最终级的 8 倍高次谐波发生中可以使用 193nm 的紫外光吸收系数低的 LBO 晶体。进而，对于基波的 7 倍高次谐波发生和 10 倍高次谐波发生，也可以和上述基波的 8 倍高次谐波发生一样利用非线性光学晶体的 2 次高次谐波发生以及和频发生适宜构成。

另外，在本发明的形态中，通过使用具备在激光发生部分中具备使单一波长振荡激光器的 CW 激光脉冲化的装置（例如实施方案中的光调制元件 12、22 等）的装置，或者使单一波长振荡激光器脉冲振荡的装置或者使用这两者，就可以得到紫外脉冲激光。另外，通过具备把用上述构成得到的紫外激光装置作为投影曝光装置的光源使用，进而以大致均等的强度在描画有投影的图案的掩模上照射来自光源的光的照明光学系统，和为了把描绘在掩模上的图案投影在晶片上的投影瞄准光学系统，就可以得到维护容易的投影曝光装置。

如上所述，如果采用本发明，由于激光源的构成是，用光放大器放大来自激光发生部分的单一波长的光，把该放大后的光用配备在波长变换部分中的非线性光学晶体变换为紫外光，因而不需要使用复杂的构成就可以容易得到所需要的光谱线宽（例如 1pm 以下）的紫外光。

进而，通过采用把单一波长的激光分支成多路（或者分时），用多个光纤放大器放大该输出光，把该放大后的光用非线性光学晶体变换为紫外光的结构，就可以一边压低脉冲光的每 1 脉冲的峰值功率一边谋求作为光源整体的激光输出的增大，并且可以提供光的空间相干性低的紫外光。

即，如果采用本发明，则可以提供紧凑、机器配置的自由度高，维护容易，并且难以产生非线性光学晶体的损伤，发生空间相干性低的紫外光的紫外激光装置。

图 1 是本发明的紫外激光装置的实施方案 1 的激光发生部分以及光放大器的构成的说明图。

图 2 是本发明的紫外激光装置的实施方案 2 的激光发生部分以及

光放大器的构成的说明图。

图 3 是本发明的紫外激光装置的实施方案 3 的激光发生部分以及光放大器的构成的说明图。

图 4 是本发明的紫外激光装置的另一实施方案的光放大器的构成的说明图。

图 5 是光放大器用的双金属包层光纤的断面图。

图 6 是展示在掺铒光纤放大器中由于掺杂元素产生的波长和增益的关系的特性图。

图 7 是展示在共同掺杂铒以及镱的光纤放大器中，相对激发强度的增益的变化的特性图。

图 8 是展示在本发明中的紫外激光装置的光纤输出控制装置的构成的构成图。

图 9 是示例在光纤放大器的输出端部分中的光纤纤芯的放大状态的侧面图。

图 10 是展示光纤放大器的输出端部的一例的侧面图，(a) 以及 (b) 分别是其第 1 以及第 2 例子。

图 11 是展示本发明的紫外激光装置的实施方案 4 的波长变换部分的构成的说明图，(a)~(d) 分别是其第 1~第 4 例子。

图 12 是展示本发明的波长变换部分的变换效率的图表，(a)~(d) 分别表示与图 11 的第 1 以及第 4 例对应的图表。

图 13 是展示本发明的紫外激光装置的实施方案 5 的波长变换部分的构成的说明图。

图 14 是展示本发明的紫外激光装置的实施方案 6 的波长变换部分的构成的说明图。

图 15 是展示本发明的紫外激光装置的实施方案 7 的波长变换部分的构成的说明图。

图 16 是展示本发明的紫外激光装置的实施方案 8 的波长变换部分输入部分的实施例的说明图。

图 17 是展示本发明的紫外激光装置的波长变换部分输入部分的另

一实施例的说明图。

图 18 是展示本发明的紫外激光装置的波长变换部分输入部分的另一实施例的说明图，(a)~(c) 分别是其第 1~第 3 例子。

图 19 是展示本发明的曝光装置的构成实施例的说明图。

图 20 是展示本发明的曝光装置的另一构成实施方案的说明图。

以下，参照附图说明本发明理想的实施方案。首先，参照图 1 说明本发明的紫外激光装置的实施方案 1。本实施方案采用的紫外光发生装置的构成包括：激光发生单元，由单一波长振荡激光器 11 构成，发生单一波长的激光；光放大器，由光纤放大器 13、18、19 组成放大该光；光分支装置 14、16，把光并行分支为多路；各自长度不同的光纤 15、17；波长变换部分，由后述的非线性光学晶体组成，波长变换上述被放大后的光，其目的是提供发生和 ArF 准分子激光器同样的输出波长（193nm）或者和 F₂ 激光器同样的输出波长（157nm），并且空间相干性低的紫外激光装置。

在本实施方案中，在图 1 中展示从本发明的紫外激光装置的激光发生部分到被输出的单一波长的激光被分支放大前的构成例子。首先，根据图 1 说明，在激光发生部分中，具备发生单一波长的激光的单一波长振荡激光器 11，进而，具备作为光分支装置的分离器 14、16，和各自的长度不同的光纤 15、17，在各自长度不同的光纤 17 的射出一侧连接光纤放大器 18、19 并被多个并行放大。该光纤放大器 19 的射出端被捆扎成线束形状，被放大后的激光例如射入到图 11(a) 所示的波长变换部分（502~506）。图 1 中所示的光纤放大器 19 的光纤线束射出端 114，与分别在图 11(a)~(d) 所示的光纤线束输出端 501 对应。该波长变换部分，配备非线性光学晶体 502~504 构成，把从光纤放大器 19 射出的基波变换为紫外光。进而，有关本发明的波长变换部分，在本发明后面的实施方案中作为实施方案 4~7 详细说明。

以下更详细地说明本实施方案。作为用图 1 所示的单一波长振荡的单一波长振荡激光器 11，例如，使用振荡波长 1.544 μm、连续光波输出（以下称为 CW 输出）20mW 的 InGaAsP、DFB 半导体激光器。

在此所谓 DFB 半导体激光器，其构成就是代替纵模选择性低的法布里-珀罗型共振器，把衍射光栅制作在半导体激光器内，无论在何种状况下都进行单一纵模振荡，被称为分布反馈型（Distributed Feedback: DFB）激光器。因为在这种激光器中基本上进行单一纵模振荡，所以其振荡光谱线宽度可以被抑制在 0.01pm 以下。

进而，为了把紫外激光装置的输出波长固定在特定波长，最好设置把单一波长振荡激光器（Master Oscillator）的振荡波长控制在一定波长的振荡波长控制装置。反之，也可以用该振荡波长控制装置使单一波长振荡激光器的振荡波长主动地改变从而可以调整其输出波长。例如，当把本发明的激光装置适用在曝光装置中时，如果采用前者，则可以防止由于波长变换产生的投影光学系统中象差的发生，或者其变化，在图案转印中其象特性（象质量等的光学特性）不会变化。另外，如果采用后者，则可以抵消对应曝光装置组装、调整的制造处和曝光装置的设置地方（安装地址）的海拔高度差和气压差，进而环境（净化车间内的气氛）不同等产生的投影光学系统的成象特性（象差等）的变动，可以缩短在安装地安装曝光装置所需要的时间。进而如果采用后者，则在曝光装置的运转中，可以抵消因曝光用照明光的照射，以及大气压变化等产生的投影光学系统的象差、投影倍率，以及焦点位置等的变化，可以始终以最佳的成象状态在基板上转印图象。

作为这样的振荡波长控制装置，例如，可以作为单一波长振荡激光器使用 DFB 半导体激光器的情况下，通过进行 DFB 半导体激光器的温度控制实现，用这种方法可以进一步把振荡波长稳定控制在一定的波长，或者微调输出波长。

通常，DFB 半导体激光器等被设置在热沉上，它们被装入壳体内。因而在本例子中，使用被设置在附设于单一波长振荡激光器（DFB 半导体激光器等）11 上的热沉上的温度调整器（例如珀耳帖元件等）控制其温度从而调整振荡波长。在此，在 DFB 半导体激光器等中可以以 0.001℃ 单位控制其温度。另外，DFB 半导体激光器的振荡波长具有 0.1nm/℃ 程度的温度依赖性。例如，如果使 DFB 半导体激光器的温度

变化 1°C ，则因为在基波（ 154nm ）中其波长变化 0.1nm ，所以在 8 倍波（ 193nm ）中其波长变化 0.0125nm ，在 10 倍波（ 175nm ）中其波长变化 0.01nm 。进而，在曝光装置中如果能使曝光用照明光（脉冲光）的波长相对其中心波长变化 $\pm 20\text{pm}$ 的程度则是十分理想的。因而，最好使 DFB 半导体激光器 11 的温度在 8 倍波中在 $\pm 1.6^{\circ}\text{C}$ 范围中，在 10 倍波中在 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 范围中变化。

而后，作为在把其振荡波长控制在规定波长时的反馈控制的监视波长，选择 DFB 半导体激光器的振荡波长，或者选择当从后述的波长变换输出（2 倍波、3 倍波、4 倍波等）中进行所希望的波长控制时给予所需灵敏度的，并且最容易监视的波长。例如，作为单一波长振荡激光器在使用振荡波长 $1.51\sim 1.59\mu\text{m}$ 的 DFB 半导体激光器时，该振荡激光的 3 倍波变为 $503\text{nm}\sim 530\text{nm}$ 的波长，但当该波段适合碘分子的吸收线密集存在的波长区域时，通过选择碘分子的适当的吸收线固定该波长就可以进行精密的振荡波长控制。

把该半导体激光器 11 输出的 CW 光（连续光），使用例如电光调制元件和声光调制元件等的光调制元件 12，变换为脉冲光。在本例子中作为一例，说明用该光调制元件 12 调制为脉冲宽度 1ns 、重复频率 100kHz （脉冲周期 $10\mu\text{s}$ ）的脉冲光的情况。进行这种光调制的结果，从光调制元件 12 输出的脉冲光的峰值输出为 20mW ，平均输出为 $2\mu\text{W}$ 。在此，虽然设置成没有引入光调制元件 12 引起的损失，但在其引入有损失，例如损失是 -3dB 的情况下，脉冲光的峰值输出为 10mW ，平均输出 $2\mu\text{W}$ 。

进而，当作为光调制元件使用电光调制元件的情况下，最好使用具有进行线性调频脉冲校正的电极构造的电光调制元件（例如二电极型调制器），使得折射率随时间变化的线性调频脉冲引起的半导体激光器输出的波长范围减小。另外，通过把重复频率设定在 100kHz 以上，就可以在后述的光纤放大器中防止由 ASE（Amplified Spontaneous Emission，放大自发辐射）干扰的影响引起的放大率下降，希望设置成这种调制器构成。

进而，通过在半导体激光器等进行其电流控制，就可以脉冲振荡输出光。因此，在本例（以及后述的各实施方案）中最好并存单一波长振荡激光器（DFB 半导体激光器等）11 的电流控制和光调制元件 12 发生脉冲激光。因而，在通过 DFB 半导体激光器 11 的电流控制，例如振荡具有 10~20ns 程度的脉冲宽度的脉冲光的同时，通过光调制元件 12 从其脉冲光中只切出其一部分。即在本例中脉冲宽度调制为 1ns 的脉冲光。由此，与只使用光调制元件 12 的情况相比，在可以容易发生脉冲宽度窄的脉冲光的同时，可以更简单地控制脉冲光的振荡间隔和振荡的开始及其停止等。特别在即使想要只用光调制元件 12 使脉冲光的振荡停止也可以输出其一部分的情况下，希望并存 DFB 半导体激光器 11 的电流控制。

把这样得到的脉冲光输出连接到初级掺铒（Er）光纤放大器（EDFA）13 上，进行 35dB（3162 倍）的光放大。此时脉冲光峰值输出约 63W、平均输出约 6.3mW。

把作为该初级光放大器光纤放大器 13 的输出，在作为光分支装置的分离器 14（平板波导 1×4 分离器）中首先并行分支成通道为 0~3 的 4 个输出。通过把该通道 0~3 的各输出，连接在各自长度不同的光纤 15（在图中只展示通道 0 的一条），从各光纤输出的光，就对各输出光施加与光纤长度对应的延迟。在本实施方案中，例如把光纤中的光传递速度设置成 2×10^8 m/s，在通道 0、1、2、3 上分别连接 0.1m、19.3m、38.5m、57.7m 长度的光纤。这种情况下，在各光纤出口相邻的通道间的光延迟为 96ns。进而在此，把以使光如此延迟为目的而使用的光纤，简单地称为延迟光纤。

接着，把上述 4 条延迟光纤输出，在 4 块平板波导 1×32 分离器 16 中进一步并行分支（在各块中通道 0~31）成 32 路输出，合计分支成 128 个通道。而后，在各块上都除去通道 0 的通道 1~31 上再次连接长度不同的延迟光纤 17。在本实施方案中，例如从通道 1 开始到 31 分别连接 $0.6 \times N$ 米（N 是通道号）长度的光纤。其结构，在各块内相邻的通道之间赋予 3ns 的延迟，相对各块的通道 0 的输出，通道 31 输

出被赋予 $3 \times 31 = 93\text{ns}$ 的延迟。

另一方面，从第 1 至第 4 的各块之间，如上所述用延迟光纤 15，在各块的输入时刻各自给予 96ns 的延迟。因而，第 2 块的通道 0 输出相对第 1 块的通道 0 输出延迟 96ns ，和第 1 块的通道 31 的延迟为 3ns 。这在第 2~第 3、第 3~第 4 块之间也一样。其结果，作为全体的输出在总计 128 通道的输出端，得到在相邻通道之间具有 3ns 延迟的脉冲光。进而，在图 1 中只记述第 1 块的通道 1，省略了其它通道的记述，但其它通道的构成也一样。

通过以上的分支以及延迟，在总计 128 通道的输出端，在相邻的通道之间可以得到具有 3ns 延迟的脉冲光，但在此时各自的输出端观测到的光脉冲，是和用光调制元件 12 调制后的脉冲一样的 100kHz （脉冲周期 $10\mu\text{s}$ ）。因而，作为激光发生部分全体看，以 100kHz 重复进行在 128 个脉冲以 3ns 间隔发生后，间隔 $9.62\mu\text{s}$ 发生下一脉冲列。即全部输出为 $128 \times 100 \times 10^3 = 1.28 \times 10^7$ 脉冲/秒。

进而在本实施方案中，说明了把分支数设置为 128，另外作为延迟用的光纤使用短光纤的例子。因此在各脉冲列之间产生 $9.62\mu\text{s}$ 的不发光的间隔，但通过增加分支数，或者把延迟用的光纤设置成更长的适宜长度，或者组合它们使用，也可以把脉冲间隔设置成完全等间隔。例如，在把射入到上述分离器 14 中的激光的脉冲重复数设置为 $f[\text{Hz}]$ ，把分支数设置为 m 时，通过把各光纤长度设定成使各光纤的延迟间隔为 $1/(f \times m)$ 也可以实现。另外，也可以通过调整分离器 14、16 的至少一方的分支数，或者由光调制元件 12 规定的脉冲重复数 f ，或者调整其分支数和重复数 f 的两方，使得上述脉冲间隔完全等间隔。因而，通过调整延迟光纤 15、17 的各光纤的长度、分离器 14、16 的至少一方的分支数，以及脉冲重复数 f 的至少 1 个，就不仅可以把脉冲间隔设定为等间隔，而且可以任意设定其间隔。

进而，为了在组装光源后改变光纤长度，例如最好形成通过分别捆扎延迟光纤 15、17 单组化，可以把此单组和通道间延迟时间不同的其它的延迟光纤单组交换的结构。另外，在变更分离器 14、16 的分支

数时，最好分别对应于分离器 14、16 准备分支数不同的其它的分离器，构成使这些分离器具有交换可能的结构。这时，希望形成可以根据分离器 14、16 的分支数的变更，交换延迟光纤 15、17 的各单组的结构。

另外，在本例子中，通过控制施加在光调制元件 12 上的驱动用电压脉冲的时刻，就可以调整光源（脉冲光）的振荡时刻，即重复频率 f （脉冲周期）。进而，当伴随该振荡时刻的变更脉冲光的输出可以变动的情况下，施加在光调制元件 12 上的驱动用电压脉冲的大小也同时可以调整，可以补偿其输出变动。这时，也可以只用单一波长振荡激光器 11 的振荡控制，或者和上述的光调制元件 12 的控制并存补偿其脉冲光的输出变动。进而，脉冲光的输出变动不只在其振荡时刻的变更时，而且还在仅在规定时间内停止单一波长振荡激光器的振荡（即，向脉冲光的光纤放大器射入）后再次开始其振荡时产生。另外，当使单一波长振荡激光器 11 脉冲振荡的情况下，也可以只通过单一波长振荡激光器 11 的电流控制，或者和上述的光调制元件 12 的控制并存调整脉冲光的振荡时刻（脉冲周期）。

而且，在本例中在 128 条延迟光纤 17 上分别连接光纤放大器 18，进而夹着窄带滤波器 113 连接光纤放大器 19。窄带滤波器 113 滤除在光纤放大器 13 以及 18 中分别发生的 ASE 光，并且通过使 DFB 半导体激光器 11 的输出波长（波长宽度在 1pm 以下）透过，使透过光的波长宽度实质性窄带化。因而，可以防止 ASE 光射入后级的光纤放大器（18 以及 19）使激光的增益下降的现象。在此，窄带滤波器最好是其透过波长宽度在 1pm 左右，但因为 ASE 光的波长宽度是数十 nm 左右，所以在此时刻得到的透过波长宽度即使使用 100pm 的窄带滤波器滤除 ASE 光而在实用上没有问题。另外，在主动地改变 DFB 半导体激光器 11 的输出波长的情况下，也可以根据其输出波长交换窄带滤波器，但最好使用具有根据其输出波长的可变宽度（在曝光装置中作为一例已在上述说明的 $\pm 20\text{pm}$ ）的透过波长宽度（和可变宽度同程度以上）的窄带滤波器。进而，在适用于曝光装置的激光装置中，其波长宽度设定在 1pm 以下。另外，在图 1 的激光装置中设置 3 个隔离器

110、111、112，由此可以降低反光的影响。

通过上述的构成，来自上述发生部分（光纤放大器 19 的射出端）的输出光，是被极窄带化的光，同时相互在时间上不重合。因而，可以减低各通道输出之间的空间相干性。

进而在上述构成中，说明了作为单一波长振荡激光器 11 使用 DFB 半导体激光器，作为光分支装置的分支要素使用平板波导型分离器 14、16 的例子，但作为激光源，和 DFB 半导体激光器一样，只要是在该波长区域上被窄带化后的激光器即可，例如即使是掺铒（Er）光纤激光器也可以起到同样的效果。另外，作为光分支装置的分支要素，和平板波导分离器一样，只要并行分支光即可，例如即使是光纤分离器，和使用部分透过镜的光束分离器也可以起到同样的效果。

另外，如上所述在本实施方案中，用一级或者多级的 EDFA（掺铒光纤放大器，以下相同）进一步放大作为延迟光纤的光纤 17 的输出。在本实施方案中，作为一例，展示了把在上述激光发生部分中的各通道中的平均输出约 $50\mu\text{W}$ 、全部通道合计的平均输出约 6.3mW 用 2 级 EDFA18、19 进行合计 46dB（40600 倍）的放大的例子。这种情况下，在各通道的输出端得到峰值输出 20kW、脉冲宽度 1ns、脉冲重复频率 100kHz、平均输出 2W、全部通道的平均输出约 256W。在此，未考虑在平板波导型分离器 14、16 中的连接损失，但在有连接损失的情况下，通过只根据其损失部分提高光纤放大器（例如 EDFA18、19 等的至少 1 个）的增益，就可以使从 EDFA19 发生的基波的输出和上述的值（例如峰值输出 20kW 等）相同。进而，通过改变光纤放大器的增益，就可以使基波的输出比上述的值大，或者比上述的值小。

作为该光放大器的输出的波长为 $1.544\mu\text{m}$ 的单一波长脉冲激光，被使用了非线性光学晶体的波长变换部分变换为光谱线宽度窄的紫外光脉冲输出。有关该波长变换部分的实施方案在以后叙述。

接着参照图 2 说明本发明的紫外激光装置的实施方案 2。本实施方案采用的紫外光发生装置，由发生单一波长激光的激光发生部分，和放大该光的光放大器，以及波长变换上述被放大的光的波长变换部

分构成, 提供发生和 ArF 准分子激光器同样的输出波长 (193nm) 或者和 F₂ 激光器同样的输出波长 (157nm) 的激光, 并且空间相干低的紫外激光装置。进而和本发明的实施方案中的紫外激光装置的不同有 2 点, 一点是光分支装置通过分时来分支光, 另一点是在入射到该光分支装置前的激光未用光纤放大器放大。其中, 光分支装置和光纤放大器的先后也可以任意的。另外, 和上述实施方案 1 (图 1) 一样, 也可以设置成在光分支装置 (在本例中是 TDM23) 的入射一侧 (单一波长振荡激光器 21 一侧) 上进一步设置光纤放大器, 把在此放大的脉冲光射入光分支装置。由此, 也可以在设置在光分支装置后级的光纤放大器 (在本例子中是 24、25) 中与图 2 的构成相比降低需要的增益, 例如因为光纤放大器的交换次数等减少所以更经济。

可是, 在本实施方案中, 在图 2 中展示本发明的紫外激光装置的激光发生部分和光分支装置和光放大器部分的构成。如图 2 所示, 本实施方案的紫外激光装置包括: 由发生单一波长激光的单一波长振荡激光器 21 组成的激光发生部分, 和使光分支的光分支装置 23, 从该光分支装置 23 输出的多路光分别由多个光纤放大器 24、25 并行放大。该光纤放大器 25 的射出端被捆扎成线束形状, 例如向图 14 所示的由非线性光学晶体等组成的波长变换部分 (702~712) 射入该被放大后的激光。如图 2 中所示的光纤放大器 25 的光纤束输出端 29, 与图 14 所示的光纤束输出端 701 对应。该波长变换部分构成为具备一群非线性光学晶体 702、705、710、712, 从光放大器 (21~28) 射出的基波被变换为紫外光。进而, 有关本发明的波长变换部分, 在实施方案的后级作为实施方案 4~7 详细说明。

以下, 更详细地说明本实施方案。作为以图 2 所示的单一波长振荡的激光器 21, 例如, 使用振荡波长 1.099 μm、CW 输出 20mW 的 DFB 半导体激光器或者掺镱 (Yb) 光纤激光器。因为这些激光器基本上为单一纵模振荡, 所以其振荡光谱线宽度被抑制在 0.01pm 以下。

例如使用电光调制元件和声光调制元件等的光调制元件 22 把该半导体激光器光输出的 CW 光 (连续光) 变换为脉冲光。在本例子中作

为一例,对用该光调制元件 22 调制为脉冲宽度 1ns、重复频率 12.8MHz (脉冲周期约 78ns) 的脉冲光的情况进行说明。进行这种光调制的结果,从光调制元件输出的脉冲光的峰值输出为 20mW,平均输出为 0.256mW。

该脉冲光输出,由作为光分支装置的分时光分支装置 (Time Division Multiplexer: TDM) 23,把脉冲光以各脉冲按顺序分配在从通道 0 至通道 127 的总计 128 通道中。即,把每脉冲周期 78ns 的脉冲从通道 0 开始顺序分配到 1、2、3...127 中。如果对各通道看其结果,则输出脉冲的脉冲周期是 $78\text{ns} \times 128 = 10\mu\text{s}$ (脉冲频率 100kHz),脉冲峰值输出 20mW,平均输出 $2\mu\text{W}$ 的脉冲光。另外,如果在激光发生部分整体看,则为脉冲频率 12.8MHz,脉冲峰值输出 20mW,平均输出 0.256mW 的被平均化后的脉冲光。进而,在相邻的通道之间有 78ns 的延迟,各通道间的脉冲光相互不重合。另外,在本例子中把从光调制元件 22 输出的脉冲光的重复频率 f 设置为 100kHz (脉冲周期 $10\mu\text{s}$),把从分时光分支装置 (TDM) 23 的通道 0~127 输出的每一脉冲光,延迟 128 等分由光调制元件 22 规定的脉冲周期 ($10\mu\text{s}$) 的时间间隔 (78ns),但该延迟时间也可以不是等时间间隔,或者和上述实施方案 1 一样只在脉冲周期 ($10\mu\text{s}$) 的一部分中,使脉冲光从通道 0~127 输出。进而,还可以同时控制施加在光调制元件 22 上的驱动用电压脉冲的时刻,由此改变上述脉冲周期 ($10\mu\text{s}$),例如也可以改变为 128 等分该被变更后的脉冲周期后时间间隔的延迟时间。

进而,和上述实施方案 1 一样,在本例子中也可以使单一波长振荡激光器 21 脉冲振荡。进而,并用分时光分支装置 (TDM) 23 和单一波长振荡激光器 21 的电流控制,或者进一步并用光调制元件 22 的控制,改变上述脉冲周期 ($10\mu\text{s}$)。

通过上述构成,从上述发生部分输出的光,是极窄带化的单一波长的光,同时相互在时间上不重合。因而,可以降低各通道输出之间的空间相干性。

进而在上述构成中,说明了作为单一波长振荡激光器 21 使用 DFB

半导体激光器或者掺镱 (Yb) 光纤激光器的例子, 但作为激光源, 和 DFB 半导体激光器一样, 如果是在该波长区域上被窄带化的激光器就可以起到同样的效果。

分时光分支装置 23 的输出, 用由与其通道 0~127 对应分别设置的一级或者多级 YDFA (掺镱光纤放大器, 以下相同) 构成的光纤放大器 24、25 放大。该掺镱光纤放大器, 与上述的掺铒光纤放大器相比半导体激光器的激发效率高经济。另外, 和上述实施方案 1 (图 1) 一样以反光影响的降低, 以及波长宽度的窄带化等为目的, 在单一波长振荡激光器 21 和光调制元件 22 之间配置隔离器 26 的同时, 在光纤放大器 24 和 25 之间配置窄带滤波器 28 和隔离器 27。

在本实施方案中, 作为一例, 展示了把在分时光分支装置 23 中的各通道的平均输出 $2\mu\text{W}$, 全部通道中的平均输出 0.256mW 用 2 级 YDFA24、25 进行合计 60dB (1000000 倍) 放大的例子。这种情况下, 在各通道的输出端上, 可以得到峰值输出 20kW、脉冲宽度 1ns、脉冲重复频率 100kHz、平均输出 2W、全部通道合计的平均输出 256W。进而, 在图 3 中只记述了全部通道中的通道 0, 其他通道的记述省略, 但其他通道也是同样的构成。

作为该光放大器输出的波长 $1.099\mu\text{m}$ 的单一波长脉冲激光, 被使用了非线性光学晶体的波长变换部分, 变换为光谱线宽度窄的紫外光脉冲输出。有关该波长变换部分的实施方案后述。

在上述说明的实施方案 1 以及实施方案 2 中光放大器的输出波长不同, 但如上所述, 由单一波长振荡激光器 (11, 12) 的振荡波长确定, 进而可以通过考虑了放大效率的光纤放大器, 即通过增益波长宽度 (例如在掺铒光纤中是 1530~1560nm, 在掺镱光纤中是 990~1200nm) 的组合得到。因而, 在本发明的实施方案中对于单一波长振荡激光器只要适宜选择组合具有根据其振荡波长的增益波长宽度的光纤放大器即可。进而例如也可以在实施方案 1 中代替平板波导型分离器 (14, 16) 使用在实施方案 2 中使用的 TDM (23), 也可以在实施方案 2 中代替 TDM (23) 使用平板波导型分离器。进而, 有关波

长变换部分的实施方案后述。

进而，在这些实施方案中的最后级的高峰值输出光纤放大器（在图 1 中是 19，在图 2 中是 25）中，为了避免在光纤中由非线性效果引起的放大光的光谱宽度的增加，光纤模直径比通常通信中使用的光纤（ $5\sim 6\mu\text{m}$ ）还大，例如希望使用 $20\sim 30\mu\text{m}$ 的大模直径光纤放大器。

使用该大模直径光纤放大器的光放大器的构成例子展示在图 4 中。在图 4 中在把用虚线的方形围成部分的光纤设置成模直径大的光纤的光放大器 42 中，把用于激发上述的模直径大的光放大器用掺杂光纤的半导体激光器 43，光纤连接在和光放大器用掺杂光纤的直径一致的大模直径光纤上，把该半导体激光器输出用波分复用装置（Wavelength Division Multiplexer: WDM）45、46，输入到光放大器用掺杂光纤，激发掺杂光纤。在该大模直径光纤（光放大器）42 中被放大后的激光射入波长变换部分 500 中，在其中被波长变换为紫外激光。要在该大模直径光纤中传播放大的激光（信号），希望主要是基模，这在单模或者模次数低的多模光纤中，通过主要选择激发基模可以实现。

另外，特别是在图 4 中在半导体激光器 43 和 WDM45 之间设置光偏振连接元件 44，可以合成偏光方向相互正交的从 2 个半导体激光器 43 输出的激光。进而，在本例子中设置成用光偏振连接元件 44 使激光的偏光方向正交的结构，但在可以允许激光的连接效率下降的情况下也可以使其偏光方向正交。进而，用设置在大模直径光纤放大器 42 的输入一侧的隔离器 404，可以降低反光的影响。另外，在具有标准的模直径的光纤放大器 41 和大模直径光纤放大器 42 之间，为了消除从光纤放大器 42 发生的 ASE 光设置窄带滤波器 403。另外，在光纤放大器 41 上光纤连接其激发用的半导体激光器 401 的同时，该半导体激光器 401 的输出通过 WDM402 输入到光放大器用掺杂光纤，由此激发该掺杂光纤。

如果采用这种方法，因为在大模直径光纤上连接半导体激光器 43，所以对光纤的连接效率提高，可以有效地使用半导体激光器输出。另

外，通过使用同一直径的大模直径光纤，因为还可以减轻在 WDM45、46 中的损失所以效率高。进而，具有标准的模直径的前级光纤放大器 41，和上述模直径大的最终级光纤放大器 42 的连接，使用模直径以锥形增加的光纤进行。

进而，为了在最终级光纤放大器（19、25）中得到高输出，代替在图 4 中的大模直径光纤（42），可以使用光纤金属包层为双重结构的双金属包层光纤 410。该光纤 410 的断面图的一例展示在图 5。在该构造中，在纤芯 411 的部分上掺杂对激光起放大作用的离子，被放大的激光（信号）在该纤芯内传送。在包裹纤芯的第 1 金属包层 412 上连接激发用半导体激光器。该第 1 金属包层是多模，因为断面面积也大所以高输出的激发用半导体激光的传导容易，可以高效率地连接多模振荡的半导体激光器，可以高效率地使用激发用光源。在第 1 金属包层的外周上形成用于形成第 1 金属包层的波导的第 2 金属包层 413。

另外，作为在上述实施方案 1 以及实施方案 2 中的光纤放大器，虽然可以使用石英光纤，或者硅系列光纤，但除此之外还可以使用氟化物系列光纤，例如可以使用 ZBLAN 光纤。在该氟化物系列光纤中，与石英和硅系列等相比可以增大掺铒浓度，由此可以缩短放大所需要的光纤长度。该氟化物系列光纤，特别希望适用于最终级光纤放大器（19、25），通过缩短光纤长度，就可以抑制脉冲光在光纤传播中因非线性效果引起波长宽度较宽，例如可以得到在曝光装置中所需要的波长宽度被窄带化的光源。特别是在具有数值孔径大的投影光学系统的曝光装置中可以使用该窄带化光源这一点，例如在设计、制造投影光学系统上有利。

可是，如上所述当作为具有双重构造的金属包层的光纤放大器的输出波长使用 $1.51\sim 1.59\mu\text{m}$ 的情况下，作为掺杂的离子加上铒最好一同掺杂镱离子。这是因为有提高半导体激光器的激发效率的效果。即，在掺杂铒和镱这两种离子的情况下，镱的强吸收波长在 $915\sim 975\text{nm}$ 附近，通过把在该近旁的波长中具有各自不同的振荡波长的多个半导体激光器用 WDM 连接在第 1 金属包层上，因为可以把该多个半导体激

光器作为激发光使用，所以可以实现大的激发强度。进而，例如作为在图 4 中的光连接元件 44 使用偏光连接元件时，因为可以一同连接偏光方向不同的半导体激光器输出，所以可以进一步把激发强度提高到 2 倍。

另外，关于光纤放大器的掺杂光纤的设计，在如本发明那样用预先确定的一定波长动作的装置（例如曝光装置）中，选择在所希望的波长中光纤放大器的增益大的材料。例如，在为了得到和 ArF 准分子激光器同样的输出波长（193nm~194nm）的紫外激光装置中，在使用光放大器用光纤的情况下，希望选择在所希望的波长，例如在 1.548 μm 增益大的材料。

但是，在通信用光纤中，为了波分复用通信，设计成在 1.55 μm 附近的数十 nm 波长区域中，具有比较平坦的增益。例如作为紫外激发媒介在具有铯单一掺杂的纤芯的通信用光纤中，为了实现该平坦的增益特性，使用了把铝磷掺杂浸沾在硅纤维上的方法。因此在这种光纤中，在 1.548 μm 处增益不一定大。这种情况展示在图 6 中。

图 6 是以横轴为波长以纵轴为荧光强度，展示光纤的荧光强度特性的差异。图中的 Al/P Silica 相当于通信用电缆，但与此相反如果使用图 6 所示的 Silicate L22，则在 1.547 μm 处可以得到更高的增益。另外，掺杂元素的铝，具有使 1.55 μm 附近的峰值向长波长一侧偏移，磷，具有向短波长一侧偏移的效果。因而，为了在 1.547 μm 附近使增益增大，可以通过在 Silicate L22 上掺杂少量的磷实现。

另一方面，例如在使用具有共同掺杂铯和铱的纤芯的光放大器用光纤（例如上述多金属包层型的光纤）的情况下，如图 7 所示，通过在纤芯中加入少量的磷，就可以得到在 1.547 μm 附近更高的增益。进而图 7 是展示以波长为横轴，以每单位长度的增益为纵轴，在图中使激发强度变化，使反转分布密度变化时相对波长的增益变化图。

在实施方案 1 和实施方案 2 中的光纤放大器中，因为各光纤是独立的光放大器，所以各光放大器的增益差为各通道的光输出的偏差。因而，在这种实施方案的激光装置中，例如如图 8 所示，希望设置反

馈控制各激发用半导体激光器（401，43）的驱动电流的光纤输出控制装置 405、406，使得在各通道的光纤放大器（41，42）中使输出的一部分分支监视光强度，来自各光纤放大器的光输出在各放大级中变为一定（即取得平衡）。在图 8 中，检测光纤放大器 41 的光分支的光纤输出控制装置 405，根据其检测值控制被连接在光纤放大器 41 上的半导体激光器 401 的驱动电流，检测从大模直径光纤放大器 42 输出的光分支的光纤输出控制装置 406，根据其检测值控制被连接在大模直径光纤放大器 42 上的半导体激光器 43 的驱动电流。

进而，如图 8 所示下最好进一步具备光纤输出控制装置 407，它监视波长变换部分 500 中的光强度，分别反馈控制作为光纤放大器全部（41，42）的激发用半导体激光器 401、43 的驱动电流，使得从波长变换部分 500 输出的光为规定的光输出。在图 8 中，虽然设置成光纤输出控制装置 407 分别独立控制半导体激光器 401、43，但也可以根据在波长变换部分 500 中检测出的光强度只控制半导体激光器 401、43 的一方。另外，虽然设置成光纤输出控制装置 407 在波长变换部分 500 的途中使激光分支检测其强度，但也可以是分支从波长变换部分 500 是光射出端输出的激光的一部分检测其强度。进而，在图 8 中和图 4 相同的其他构成要素标注相同的符号，省略说明。

通过设置成这种构成，因为对于每一放大级使各通道的光纤放大器的放大率一定，所以不会提供在各光纤放大器之间出现偏差的负荷，作为全体可以得到均匀的光强度。另外，通过监视在波长变换部分中的光强度，就可以在各放大级上反馈预先规定的光强度，可以稳定得到所希望的紫外光输出。

虽然在图 8 中图示，但进而可以把光纤输出控制装置 405、406、407 的至少 1 个，分别连接在单一波长振荡激光器（11 或者 21）以及光调制元件（12 或者 22）上，在进行单一波长振荡激光器的温度控制以及电流控制的同时，向光调制元件施加驱动用电压脉冲，并且控制其电压脉冲的时刻以及大小。因而，至少 1 个光纤输出控制装置检测脉冲光（基波，或者在波长变换部分中至少波长变换了 1 次的可见光，

或者红外光，或者紫外光)的强度、中心波长，以及波长宽度，根据该检测值反馈控制单一波长振荡激光器的温度，从而控制该脉冲光的中心波长以及波长宽度。进而，根据该检测值进行单一波长振荡激光器的电流控制，和向光调制元件施加的电压脉冲的控制，控制该脉冲光的强度、振荡间隔，以及振荡的开始和停止等。另外，至少 1 个光纤输出控制装置，至少进行单一波长振荡激光器的振荡控制和光调制元件的控制之一，使得在进行单一波长振荡激光器的脉冲振荡和连续振荡的切换，以及在该脉冲振荡时的振荡间隔和脉冲宽度等控制的同时，补偿脉冲光的输出变动。进而，在图 8 中是假设使用大模直径光纤放大器为前提，但在此说明的被连接在光纤放大器上的激发用半导体激光器(401 等)的电流控制，和单一波长振荡激光器以及光调制元件的控制，也可以不使用大模直径光纤放大器，而直接适用于上述实施方案 1 和实施方案 2 的紫外激光装置(图 1、图 2)。

在以上说明的实施方案 1 和 2 中的最终级光纤放大器 19、25 的输出端被捆扎形成所需要的线束形状(114、29)。线束的数目以及形状根据波长变换部分的构造和所需要的光源的形状而定。例如，在本实施方案中展示了具有一个圆形断面的线束的情况(114, 29, 501, 601 等)。这时，因为各光纤的金属包层直径是 $125\mu\text{m}$ ，所以在捆扎 128 根输出端的线束的直径可以设置在约 2mm 以下。线束可以直接使用最终级 EDFA 或者 YDFA 的输出端形成，但也可以在最终级 EDFA 或者 YDFA 上连接无掺杂的光纤，在其输出端形成线束。

另外，如图 9 所示，在光放大器中的最终级各光纤 422 的输出端部 423 上，使该光纤 422 内的纤芯 421 的直径向着输出端渐渐扩大配置成锥形，最好减小在输出端面 423 上的光的功率密度(单位面积的光强度)。这时，设定为：锥形状其纤芯直径的扩大在向着输出端面 423 极缓慢地增加，在被放大的激光传递到锥部时保存在光纤中的传递横模，其它的横模的激发可以忽略的程度(例如数 mrad)。

通过这样设定，就可以降低在光纤的输出端面 423 上光的功率密度，可以得到大幅度抑制在光纤的损伤中最成问题的由于光纤输出端

部的激光引起的损伤的效果。其结果，可以得到从光纤放大器的输出端射出的激光的功率密度越高（例如光强度越高，另外相对同一功率的纤芯直径越小，或者分割全部功率的通道数越少等）效果越大。

另外，如图 10 (a) 所示在最终级光纤 432 的输出端部分 434 上，最好和上述纤芯直径的扩大一同，或者根据激光的功率密度单独密封配设使激光透过的适宜厚度的窗部件 433。但是，在图 10 (a) 中不扩大光纤内的纤芯 413 的直径，而是只用窗部件 433 使光输出的功率密度减小。在此，如实施方案 1、2 所示，当光纤输出是多个的情况下，除了在各光纤每一端部设置窗部件的图 10 (a) 的方法外，如图 10 (b) 所示，在各光纤放大器 422 的每一输出群的输出端部 444 上设置共用的窗部件 443 也是本实施方案中的一实施方案。但是，在图 10 (b) 中，虽然未扩大光纤内的纤芯 441 的直径，但也可以并用纤芯直径的扩大。进而，共同设置 1 个窗部件 433 的多个光纤放大器的数目可以是任意的，例如可以设置成图 1 或者图 2 所示的最终级光纤放大器 19 或者 25 的总数，即 128 根。进而，窗部件（433 或者 443）考虑在基波激光的波长区域上的透过率，以及和光纤的密封性等选择适宜的材料（例如 BK7 等的光学玻璃和石英材料等），另外与光纤和窗部件的密封，可以使用光接点或者焊接等方法。

通过这样构成，因为从窗部件射出的激光的功率密度比在光纤纤芯 431、441 中的功率密度小，所以可以得到抑制由光纤输出端的激光引起的损伤的效果。而后，通过和在上述输出端部上的光纤纤芯直径的扩大组合，就可以解决成为以往问题的光纤输出端部损伤的问题。

进而，在以上的各实施方案（图 1、图 2、图 4、图 8）中，展示了为了避免反光的影响，在各连接部分上适宜地插入隔离器 110、111、112、26、27、404，另外为了得到良好的 EDFA 放大特性插入窄带滤波器 113、28、403 的构成例子。但是，配置隔离器或者窄带滤波器的位置，或者其数量并未限定于上述实施方案，例如只要根据适用本发明的激光源的各种装置（曝光装置等）的要求精度等适宜确定即可，也有根本不设置隔离器和窄带滤波器的至少一方的情况。进而窄带滤

波器只要对所希望的单一波长可以得到高透过率即可，滤波器的透过波长宽度在 1pm 以下足够。通过这样使用窄带滤波器，就可以减轻在窄带滤波器中发生的自然发射光 ASE（放大自发发射）引起的干扰，另外，可以使来自前级的光纤放大器的 ASE 的基波输出的放大率下降。

另外，在上述实施方案中监视用光调制元件 12 或者 22 切出的脉冲光的强度或者光纤放大器输出，可以调整施加在光调制元件上的驱动用电压脉冲以及偏置 DC 电压的大小，反馈控制脉冲光的强度，使得每一脉冲其强度为一定。进而，检测出从多个光纤放大器 19 或者 25 发生的激光，监视在各通道中的激光的延迟时间和在通道间的激光的振荡间隔等，通过控制施加在光调制元件上的驱动用电压脉冲的时刻，或者控制图 2 中的 TDM，使得其延迟时间和振荡间隔等分别为规定值，就可以反馈控制在光纤线束输出端中的激光的振荡时刻。另外，检测出从波长变换部分 500 产生的紫外光的波长，以该检测值为基础调整单一波长振荡激光器 11 或者 21 的温度，也可以反馈控制紫外光的波长。

进而，也可以进行所谓的前馈控制，即，检测出在光调制元件 12 或者 22 中切出的脉冲光的强度变动，控制配置在光调制元件后级的多级光纤放大器（13、18、19，或者 24、25）的至少一级的增益，用以补偿输出变动。另外，也可以在上述通道 0~127 中，检测延迟时间短的通道，即脉冲光输出早的通道（光强度），根据该检测值控制光纤放大器的增益（或者 TDM23），反馈控制比该通道延迟时间还长的通道，即脉冲光晚输出的通道的输出。另外，特别在图 1 所示的实施方案 1 中，并不以通道单位控制其输出，而可以以具有 32 个通道的块单位控制其输出，例如可以检测出第 1 块的至少 1 个通道的输出，根据该检测值控制第 2 块中的通道的输出。

参照图 3 说明本发明的紫外激光装置的实施方案 3。本实施方案的紫外光发生装置，由以单一波长振荡激光器 31 组成发生单一波长的激光的激光发生部分，和以光纤放大器 33、34 组成放大入射光的光放

大器，以及波长变换被放大的光的波长变换部分（未图示）构成，提供发生和 ArF 准分子激光器一样的输出波长（193nm）或者和 F₂ 激光器一样的输出波长（157nm）的激光的紫外激光装置。

在本实施方案中，在图 3 所示的紫外激光装置上，具备发生单一波长的激光的单一波长振荡激光器 31，该单一波长振荡激光器 31 的光输出被光纤放大器 33、34 放大。该光纤放大器 34 的输出，例如该放大后的激光被入射到图 13 所示的波长变换部分（602~611）。进而，在图 3 中的光纤放大器 34 的光射出端，与图 11 以及图 13 所示的光纤线束光射出端 501 以及 601 对应。该波长变换部分，配备一组非线性光学晶体 602、604、609、611 等组成，把从光放大器（31~36）射出的基波变换为紫外光。进而，有关本发明的波长变换部分在实施方案的后级作为实施方案 4~7 详细说明。

以下，更详细地说明本实施方案。作为图 3 所示的用单一波长振荡的单一波长振荡激光器 31，例如，使用振荡波长 1.544 μm，CW 输出 30mW 的 InGaAsP、DFB 半导体激光器。该激光器因为基本上以单一纵模振荡，所以其振荡光谱线宽度可以被抑制在 0.01pm 以下。

该半导体激光器 31 的光输出（连续光），例如由电光调制元件和声光调制元件等的光调制元件 32 变换为脉冲光。在本例子中作为一例，说明用该光调制元件 32 调制为脉冲宽度 1ns，重复频率 100kHz 的脉冲光的情况。进行这种光调制的结果，从光调制元件 32 输出的脉冲光的峰值输出为 30mW，平均输出 3 μm。

和上述实施方案 1、2 一样，用具有一级或者多级的 EDFA（掺铒光纤放大器）的光纤放大器放大被脉冲化的输出光。在本实施方案中，作为一例，展示了用 2 级光纤放大器 33、34 进行合计 58dB（667000 倍）的放大的情况。这种情况下，在该光纤放大器 34 的输出端的平均输出为 2W。该输出端部可以直接使用最终级的光纤放大器 34 的输出端形成，但也可以在该最终级的光纤放大器 34 上连接无掺杂的光纤。另外，在本实施方案中，为了避免反光的影响，展示在各连接部分上适宜地插入隔离器 35、36 的构成例子。

作为该光放大器的输出是波长 $1.544\mu\text{m}$ 的单一波长脉冲激光, 由使用了非线性光学晶体的波长变换部分(详细后述), 变换为光谱线宽度窄的紫外光脉冲输出。进而, 在本实施方案的光放大器(31~36)中其输出端由1根光纤放大器34组成, 但例如也可以和在实施方案1(图1)中使用的平板波导型分离器(16), 或者在实施方案2中使用的TDM(23)一同, 分别准备多个光纤放大器(33、34)捆扎光纤放大器34形成光纤线束。这时, 通过调整施加在分别设置在多个光放大器上的光调制元件32上的驱动用电压脉冲的时刻, 就可以调整从多个光放大器射出的脉冲光的振荡间隔, 最好使每个光放大器错开发光时刻, 例如以等时间间隔顺序发出脉冲光。另外, 本实施方案也可以适用上述的实施方案1、2的变形例。例如, 也可以使单一波长振荡激光器31脉冲振荡, 进而, 也可以只用单一波长振荡激光器31的电流控制, 或者并用其电流控制和光调制元件32的控制改变脉冲光的振荡间隔(脉冲周期)。

接着, 叙述在上述实施方案1~3中分别使用的波长变换部分的实施方案。在图11(a)~(d)中, 把本发明的波长变换部分的构成例子作为实施方案4。这些都是用非线性光学晶体把从光纤线束的输出端501(虽然相当于在实施方案1中的114、实施方案2中的29等, 但也可以是实施方案3中的单一光纤(34)的输出端。)射出的波长 1.544nm 的基波波长变换为8倍波(高次谐波), 发生和ArF准分子激光器一样波长的 193nm 的紫外光的构成例。

在图11(a)中, 从光纤线束输出端501输出的波长 1.544nm (频率 ω)的基波, 在图中从左向右透过非线性光学晶体502、503、504输出。基波在通过非线性光学晶体502时, 通过产生2次高次谐波发生基波频率 ω 的2倍, 即发生频率 2ω (波长是基波的 $1/2$ 的 722nm)的2倍波。发生的2倍波向右方向前进, 入射到下一个非线性光学晶体503。在此再次进行第2次高次谐波发生, 发生具有入射波的频率 2ω 的2倍波, 即相对基波具有4倍的频率 4ω (波长是基波的 $1/4$ 的 386nm)的4倍波。发生的4倍波进一步进入右边的非线性光学晶体

504, 在此再次进行第 2 次高次谐波发生, 发生入射波的频率 4ω 的 2 倍波, 即相对基波具有 8 倍的频率 8ω 的 8 倍波 (波长是基波的 $1/8$ 的 193nm)。

作为在上述波长变换中使用的非线性光学晶体, 例如在从基波到 2 倍波的变换晶体 502 中使用 LiB_3O_5 (LBO) 晶体, 在从 2 倍波到 4 倍波的变换晶体 503 中使用 LiB_3O_5 (LBO) 晶体, 在从 4 倍波到 8 倍波的变换晶体 504 中使用 $\text{Sr}_2\text{Be}_2\text{B}_2\text{O}_7$ (SBBO) 晶体。在此, 在从使用 LBO 晶体的从基波向 2 倍波变换中, 在用于波长变换的相位整合中, 使用在 LBO 晶体的温度调节中采用的方法, 非临界相位匹配: NCPM。NCPM 可以以不引起在非线性光学晶体内的基波和第 2 高次谐波的角度偏差 (离散) 的高效率向 2 倍波变换, 另外, 发生的 2 倍波因为也未受到离散产生的光束变形的影响, 因而有利。

图 11 (b) 是展示了按照基波 (波长 $1.544\mu\text{m}$) \rightarrow 2 倍波 (波长 772nm) \rightarrow 3 倍波 (波长 515nm) \rightarrow 6 倍波 (波长 257nm) \rightarrow 8 倍波 (波长 193nm) 的顺序波长变换的情况。

在第 1 级波长变换部分 507 中, 在从基波向 2 倍波的 2 次高次谐波发生的变换中以上述的 NCPM 使用 LBO 晶体。波长变换部分 (LBO 晶体) 507, 在使基波的一部分未波长变换地透过的同时, 波长变换基波发生 2 倍波, 在该基波和 2 倍波上用波长板 (例如 $1/2$ 波长板) 508 分别给予半波长、1 波长的延迟, 只使基波的偏光旋转 90 度。该基波和 2 倍波分别通过透镜 509 射入第 2 级波长变换部分 510。

在第 2 级波长变换部分 510 中, 从在第 1 级的波长变换部分 507 中发生的 2 倍波, 和未经变换而透过的基波中通过发生和频得到 3 倍波 (波长 515nm)。虽然作为波长变换晶体使用 LBO 晶体, 但所谓第 1 波长变换部分 (LBO 晶体) 507 可以使用温度不同的 NCPM。在波长变换部分 510 中得到的 3 倍波, 和未经波长变换透过的 2 倍波, 由分色镜 511 分离, 在该分色镜 511 上反射的 3 倍波, 透过透镜 513 入射到第 3 级波长变换部分 514。波长变换部分 514 是 $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$ (BBO) 晶体, 在此 3 倍波被 2 次高次谐波发生变换为 6 倍波 (波长 257nm)。

在波长变换部分 514 中得到的 6 倍波, 和透过分色镜 511 通过透镜 512 的 2 倍波, 在分色镜 516 上被合成在同一轴上后入射到第 4 级波长变换部分 517。波长变换部分 517 使用 BBO 晶体, 从 6 倍波和 2 倍波中通过发生和频得到 8 倍波 (波长 193nm)。在图 11 (b) 的构成中, 作为第 4 级波长变换部分 517 的波长变换晶体, 也可以使用 $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$ (CLBO) 晶体代替 BBO 晶体。

进而, 在本实施例中设置成在第 2 级波长变换部分 510 中得到的 3 倍波和 2 倍波在分色镜 511 上分支, 并且在第 3 级波长变换部分 514 上得到的 6 倍波和在第 2 级波长变换部分 510 上得到的 2 倍波在分色镜 516 上合成, 入射到第 4 级波长变换部分 517 中。在此, 作为使分色镜 511 的特性反转, 即使 3 倍波透过并且 2 倍波反射的结构, 也可以是把第 3 级波长变换部分 514 配置在和第 2 级波长变换部分 510 同一个光轴上。这时, 也需要使分色镜 516 的特性反转。这样在 6 倍波和 2 倍波的一方透过分支光路入射到第 4 级波长变换部分 517 的构成中, 可以把使 6 倍波和 2 倍波分别入射到第 4 级波长变换部分 517 中的聚光镜 515、512 配置在相互不同的光路上。

在第 3 级波长变换部分 514 中发生的 6 倍波因为其断面形状因离散现象而变为椭圆形, 所以为了在第 4 级波长变换部分 517 中得到良好的变换效率, 希望进行其 6 倍波的光束整形。在此如本实施例所示, 通过把聚光镜 515、512 分别配置在各自的光路上, 例如作为聚光镜 515 就可以使用圆柱透镜对等, 6 倍波的光束整形可以很容易进行。因此, 可以使在第 4 级波长变换部分 (BBO 晶体) 517 中的 2 倍波的重叠良好, 可以提高变换效率。

进而, 第 2 级波长变换部分 510 和第 4 级波长变换部分 517 之间的构成不仅限于图 11 (b), 如果在 6 倍波和 2 倍波中其光路长度相等, 使得 6 倍波和 2 倍波同时入射到第 4 级波长变换部分 517 中, 则也可以是这种构成。进而, 例如也可以在第 2 级波长变换部分 510 和同一光轴上配置第 3 级和第 4 级波长变换部分 514、517, 在第 3 级波长变换部分 514 在通过发生第 2 高次谐波只把 3 倍波变换为 6 倍波, 和未

波长变换的 2 倍波一同入射到第 4 级波长变换部分 517 中，由此，就不需要使用分色镜 511、516。

图 11(c) 展示按照基波(波长 $1.544\mu\text{m}$) → 2 倍波(波长 772nm) → 4 倍波(波长 386nm) → 6 倍波(波长 257nm) → 8 倍波(波长 193nm) 的顺序波长变换的情况。

在第 1 级波长变换部分 518 中作为其波长变换晶体使用 LBO 晶体，为了把基波波长变换为 2 倍波以 NCPM 使用该 LBO 晶体。从第 1 级波长变换部分 518 发生的 2 倍波，通过聚光镜 519 入射到第 2 级波长变换部分 520。在第 2 级波长变换部分 520 中，作为其波长变换晶体使用 LBO 晶体，从在第 1 级波长变换部分 518 中发生的 2 倍波中通过发生 2 次高次谐波得到 4 倍波 (386nm)。在波长变换部分 520 中得到的 4 倍波，和未被波长变换而透过该波长变换部分 520 的 2 倍波，由分色镜 521 分离，在此被反射的 4 倍波通过聚光镜 524 到达分色镜 525。另一方面，通过分色镜 521 的 2 倍波，其偏光方向在由半波长板 522 旋转 90° 的同时，通过聚光镜 523 到达分色镜 525，在此和通过分支光路的 2 倍波合成为同轴，入射到第 3 级波长变换部分 526。

在第 3 级波长变换部分 526 中，作为其波长变换晶体使用 BBO 晶体，从在第 2 级波长变换部分 520 中发生的 4 倍波，和未被波长变换而通过其波长变换部分 520 的 2 倍波，通过发生和频得到 6 倍波(波长 257nm)。在波长变换部分 526 中得到的 6 倍波，和未经波长变换而透过其波长变换部分 526 的 2 倍波，由分色镜 527 分离，在此被反射的 2 倍波其偏光方向在由半波长板 528 旋转 90° 的同时，通过聚光镜 529 到达分色镜 531。另一方面，透过分色镜 527 的 6 倍光，通过聚光镜 530 到达分色镜 531，在此和通过分支光路的 2 倍波合成同轴射入第 4 级的波长变换部分 532。

在第 4 级波长变换部分 532 中，作为其波长变换晶体使用 BBO 晶体，在第 3 级波长变换部分 526 中发生的 6 倍波，和未经波长变换而透过其波长变换部分 526 的 2 倍波通过发生和频得到 8 倍波(波长 193nm)。在上述构成中，作为第 4 级波长变换部分 532 的波长变换晶

体,也可以使用 CLBO 晶体代替 BBO 晶体。

进而,在本实施例中设置成在第 2 级以及第 3 级的波长变换部分 520、526 之后分别配置分色镜(521, 或者 527),从该波长变换部分(520, 或者 526)射出的一对高次谐波(2 倍波和 4 倍波,或者 2 倍波和 6 倍波)分别通过不同的光路入射到下一级波长变换部分(526, 或者 532),但和在图 11(b)中说明的一样,也可以把第 3 级的波长变换部分 526 和其他的波长变换部分 518、520、523 配置在同一光轴上,由此不需要使用分色镜 521、525、527、531 等。

可是,在本实施例中,在第 2 级以及第 3 级变换部分 520、526 中发生的 4 倍波,以及 6 倍波,其断面形状因离散现象为椭圆形。因此,为了在以该光束为输入的第 3 级以及第 4 级的波长变换部分 526、532 中得到良好的变换效率,希望整形成为入射光束的 4 倍波以及 6 倍波的光束形状,使其和 2 倍波光束的重叠良好。如本实施例所示,通过把聚光镜 523 和 524,以及 529 和 530 分别设置在各自的光路上,例如就可以把圆柱透镜对作为透镜 524、530 使用,可以容易进行 4 倍波和 6 倍波的光束整形。因此,在第 3 以及第 4 波长变换部分 526、532 中各自和 2 倍波的重叠变得良好,可以提高变换效率。

进而,只要该 2 倍波和 4 倍波的各光路长度变为相同,使得从第 2 级波长变换部分 520 中发生的 2 倍波和 4 倍波同时入射到第 3 级波长变换部分 526 即可,2 个波长变换部分 520、526 之间的构成并不限于图 11(c)。这在第 3 级波长变换部分 526 和第 4 级波长变换部分 523 之间也一样。

图 11(d)是展示了按照基波(波长 $1.544\mu\text{m}$) \rightarrow 2 倍波(波长 772nm) \rightarrow 3 倍波(波长 515nm) \rightarrow 4 倍波(波长 386nm) \rightarrow 7 倍波(波长 221nm) \rightarrow 8 倍波(波长 193nm)的顺序进行波长变换的情况。

在第 1 级波长变换部分 533 中,作为其波长变换晶体使用 LBO 晶体,为了把基波波长变换为 2 倍波以 NCPM 使用该 LBO 晶体。在波长变换部分 533 中未经波长变换而透过的基波,和在波长变换部分中发生的 2 倍波,用波长板 534 分别赋予半波长、1 波长的延迟,只有

基波其偏光方向旋转 90 度。第 2 级波长变换部分 536 在使用 LBO 晶体作为其波长变换晶体的同时，其 LBO 晶体在和第 1 级波长变换部分 (LBO 晶体) 533 温度不同的 NCPM 下使用。在该波长变换部分 536 中，从在第 1 级波长变换部分 533 中发生的 2 倍波，和未经波长变换而透过其波长变换部分 533 的基波中通过发生和频得到 3 倍波 (波长 515nm)。

在波长变换部分 536 中得到的 3 倍波，和未经波长变换而透过其的波长变换部分 536 的基波以及 2 倍波，用分色镜 537 分离，在此被反射的 3 倍波通过聚光镜 540，以及分色镜 543 射入到第 4 级的波长变换部分 545。另一方面，透过分色镜 537 的基波以及 2 倍波，通过聚光镜 538 入射到第 3 级波长变换部分 539。

第 3 级波长变换部分 539 使用 LBO 晶体作为其波长变换晶体，在基波未被波长变换而透过该 LBO 晶体的同时，2 倍波在 LBO 晶体中通过发生 2 次高次谐波被变换为 4 倍波 (波长 386nm)。在波长变换部分 539 中得到的 4 倍波和透过它的基波，用分色镜 541 分离，在此透过的基波在通过聚光镜 544 的同时，在分色镜 546 上被反射到第 5 级波长变换部分 548。另一方面，在分色镜 541 上被反射入射的 4 倍波，通过聚光镜 542 到达分色镜 543，在此和在分色镜 537 上被反射的 3 倍波合成同轴并入射到第 4 级波长变换部分 545。

第 4 级波长变换部分 545 使用 BBO 作为其波长变换晶体，从 3 倍波和 4 倍波中通过发生和频得到 7 倍波 (波长 221nm)。在波长变换部分 545 中得到的 7 倍波在通过聚光镜 547 的同时，在分色镜 546 上，和透过分色镜 541 的基波合成同轴，入射到第 5 级波长变换部分 548。

第 5 级波长变换部分 548，使用 LBO 晶体作为其波长变换晶体，从基波和 7 倍波中通过和频发生得到 8 倍波 (波长 193nm)。在上述构成中，也可以使用 CLBO 晶体代替 7 倍波发生用 BBO 晶体 545，以及 8 倍波发生用 LBO 晶体 548。

在本实施例中，因为在第 4 级波长变换部分 545 上 3 倍波和 4 倍波通过相互不同的光路入射，所以可以把聚光 3 倍波的透镜 540，和

聚光 4 倍波的透镜 542 设置在各自的光路上。在第 3 级波长变换部分 539 中发生的 4 倍波其断面形状因离散现象而变为椭圆形。因此，为了在第 4 级波长变换部分 545 中得到良好的变换效率，希望进行该 4 倍波的光束调整。在本实施例中，因为把聚光透镜 540、542 配置在各自的光路上，所以例如可以使用圆柱透镜对作为透镜 542，可以容易进行 4 倍波的光束整形。因此，可以使和在第 4 级的波长变换部分(BBO 晶体) 545 中的 3 倍波的重叠良好，可以提高变换效率。

进而在本实施例中，可以把聚光入射到第 5 级波长变换部分 548 中的基波的透镜 544，和聚光 7 倍波的透镜 547 设置在各自的光路上。在第 4 级波长变换部分 545 中发生的 7 倍波其断面形状因离散现象而变为椭圆形。因此，为了在第 5 级的波长变换部分 548 中得到良好的变换效率，最好进行该 7 倍波的光束整形。在本实施例中，因为可以把聚光透镜 544、547 配置在各自的光路上，所以例如可以使用圆柱透镜对作为透镜 547 使用，可以容易进行 7 倍波的光束的整形。因此，可以使和在第 5 级的波长变换部分(LBO 晶体)中的基波的重叠良好，可以提高变换效率。

进而，第 2 级波长变换部分 536 和第 4 级波长变换部分 545 之间的构成并不限于图 11(d)，只要是两波长变换部分 536、545 之间的 2 光路的长度相等，使得从波长变换部分 536 发生在分色镜 537 上反射的 3 倍波，和把从波长变换部分 536 发生并透过分色镜 537 的 2 倍波在波长变换部分 539 中波长变换得到的 4 倍波同时入射到波长变换部分 545，这样的构成就可以。这在第 3 级波长变换部分 539 和第 5 级波长变换部分 548 之间也一样。

图 12(a)~(d)展示对于图 11(a)~(d)所示的波长变换部分分别实验得到的结果的在平均各通道的各级中的波长变换效率，以及得到的 8 倍波(波长 193nm)的平均输出。基波的输出在如上述实施方案中说明的各通道的输出端上，是峰值功率 20kW、脉冲宽度 1ns、脉冲重复频率 100kHz，以及平均输出 2W。其结果，平均各通道的 8 倍波(波长 193nm)的平均输出，在图 11(a)的波长变换部分中是

229mW, 在图 11 (b) 的波长变换部分中是 38.3mW, 在图 11 (c) 的波长变换部分中是 40.3mW, 在图 11 (d) 的波长变换部分中是 45.9mW。因而, 全部 128 通道加在一起的线束的平均输出, 在图 11 (a) 中是 29W, 在图 11 (b) 中是 4.9W, 在图 11 (c) 中是 5.2W, 在图 11 (d) 中是 5.9W。无论是哪种波长变换部分作为曝光装置用光源都可以提供充分输出的波长 193nm 的紫外光。

在这些实施方案中图 11 (a) 的构成最简单, 变换效率最高。因此, 即使设置成以使光纤放大器的通道数比上述实施方案 1、2 (128 通道) 还少, 例如 1/2~1/3 的通道数构成线束, 或者, 即使用比在本实施例所示的基波输出还低的基波输出构成等, 作为曝光装置用光源也可以提供充分输出的波长 193nm 的紫外光。

图 11 (d) 的构成, 波长变换部分的级数是 5 级在这些实施方案中最多, 但向 193nm 的变换效率和图 11 (b)、(c) 的实施方案相同, 可以得到几乎相同的紫外光输出。另外, 在图 11 (b)、(c) 的构成中, 因为在 8 倍波 (193nm) 的发生中使用 BBO 晶体, 所以有由 BBO 晶体引起的 8 倍波 (193nm) 的吸收, 存在有可能损伤 BBO 晶体的问题。与此相反, 在图 11 (d) 的构成中可以在 8 倍波 (193nm) 的发生中使用 LBO 晶体。该 LBO 晶体, 现在, 作为市售产品很容易得到质量良好的晶体, 进而 193nm 的紫外光的吸收系数非常小, 因为没有晶体的光损伤的问题所以在耐久性方面有利。另外, 虽然在 8 倍波 (例如波长 193nm) 的发生部分中通过角度相位整合 LBO 晶体使用, 但因为其相位整合角大所以实效非线性光学常数 (d_{eff}) 小。因而, 在该 LBO 晶体上设置温度控制机构, 最好在高温下使用 LBO。由此, 可以减小相位整合角。即, 可以增加上述常数 (d_{eff}), 提高 8 倍波发生效率。

进而, 以上虽然对从基波中发生 8 倍波的波长变换部分的构成例子说明了最好的实施方案, 但本发明的波长变换部分并不局限于该实施方案, 如果是发生作为基波的 $1.544\mu\text{m}$ 的 8 倍波的构成, 则可以起到同样的效果。例如通过按照基波 (波长 $1.544\mu\text{m}$) \rightarrow 2 倍波 (波长 772nm) \rightarrow 3 倍波 (波长 515nm) \rightarrow 4 倍波 (波长 386nm) \rightarrow 6 倍波 (波

长 257nm) → 7 倍波 (波长 221nm) → 8 倍波 (波长 193nm) 的顺序波长变换, 也可以起到同样的效果。

这时, 作为在该波长变换中使用的非线性光学晶体, 可以通过使用以下晶体实现, 例如在从基波到 2 倍波的变换晶体中使用 LBO 晶体, 在从 2 倍波到 4 倍波的变换晶体中使用 LBO 晶体, 在通过 2 倍波和 4 倍波发生和频进行的发生 6 倍波中使用 BBO 晶体, 在由基波和 6 倍波发生和频进行的发生 7 倍波中使用 BBO 晶体, 在通过基波和 7 倍波发生和频发生 8 倍波中使用 LBO 晶体。这种情况下因为也是在发生 8 倍波中可以使用 LBO 晶体所以在不会有晶体的损伤这一点上有利。

如以上的实施方案 4 所示通过构成波长变换部分, 可以把在基波发生部分中发生的波长 $1.544\mu\text{m}$ 的基波波长变换为波长 193nm 的紫外光。

接着, 图 13 展示本发明的波长变换部分的另一构成例的实施方案 5。它展示了把从光纤线束的输出端 601 (相当于在实施方案 1 中的 114, 在实施方案 2 中的 29 等) 射出的波长 $1.57\mu\text{m}$ 的基波用非线性光学晶体发生 10 倍波的高次谐波, 发生和 F_2 激光器一样的波长的 157nm 的紫外光的构成例子。进而, 在本实施方案中的基波输出部分可以使用此前叙述过的实施方案 1~3 之一, 或者组合它们使用。

在图 13 所示的波长变换部分的构成例子中, 展示了按照基波 (波长 $1.57\mu\text{m}$) → 2 倍波 (波长 785nm) → 4 倍波 (波长 392.5nm) → 8 倍波 (波长 196.25nm) → 10 倍波 (波长 157nm) 的顺序进行波长变换的情况。在本实施例中在从 2 倍波发生到 8 倍波发生的各波长变换级中, 被射入到各波长变换级中的波长发生 2 次高次谐波。

另外, 在本例中作为在波长变换中使用的非线性光学晶体, 在从波长变换部分 602 中的基波中通过发生 2 次高次谐波进行的 2 倍波的发生中使用 LBO 晶体, 在从波长变换部分 604 中的 2 倍波中通过发生 2 次高次谐波进行的 4 倍波的发生中使用 LBO 晶体。进而, 在从波长变换部分 609 中的 4 倍波中通过发生 2 次高次谐波进行的 8 倍波的发生中使用 $\text{Sr}_2\text{Be}_2\text{B}_2\text{O}_7$ 晶体 (SBBO), 在从波长变换部分 611 中的 2 倍

倍波和 8 倍波中通过发生和频进行的 10 倍波（波长 157nm）的发生中使用 SBBO 晶体。

进而，从波长变换部分 602 发生的 2 倍波，通过聚光透镜 603 射入波长变换部分 604，该波长变换部分 604 发生上述的 4 倍波和未被波长变换的 2 倍波。接着，透过分色镜 605 的 2 倍波在通过聚光透镜 606 的同时，在分色镜 607 上被反射后射入波长变换部分 611。另一方面，在分色镜 605 上反射的 4 倍波，通过聚光透镜 608 射入波长变换部分 609，在此发生的 8 倍波通过聚光透镜 610，以及分色镜 607 射入波长变换部分 611。进而，波长变换部分 611 从用分色镜 607 合成在同一轴上的 2 倍波和 8 倍波中通过发生和频发生 10 倍波（波长 157nm）。

可是，在本实施例中虽然设置成，通过用分色镜 605 分支从第 2 级波长变换部分 604 发生的 2 倍波和 4 倍波，透过其的 2 倍波和在波长变换部分 609 中波长变换 4 倍波得到的 8 倍波通过相互不同的光路射入第 4 级波长变换部分 611，但是也可以不使用分色镜 605、607 而把 4 个波长变换部分 602、604、609、611 配置在同一光轴上。

但是，在本实施例中在第 2 级波长变换部分 604 中发生的 4 倍波，其断面形状因离散现象而为椭圆形。因此，为了在以该光束为输入的第 4 级波长变换部分 611 中得到良好的变换效率，希望整形成为入射光束的 4 倍波的光束形状，使其和 2 倍波光束的重叠良好。在本实施例中，因为可以把聚光镜 606、608 分别设置在各自的光路上，所以例如可以把圆柱透镜作为透镜 608 使用，可以容易进行 4 倍波的光束整形。因此，可以使在第 4 级波长变换部分 611 中的 2 倍波的重叠变得良好，可以提高变换效率。

如上述实施方案 5 所示通过构成波长变换部分，就可以把在基波发生部分中发生的波长 $1.57\mu\text{m}$ 的基波，波长变换为波长 157nm 的紫外光。

在图 14 中，展示了本发明的波长变换部分的另一构成的实施方案 6。它是展示例如如实施方案 2 所示构成基波发生部分，把从光纤线束

的输出端 701 (相当于在实施方案 1 中的 114, 在实施方案 2 中的 29 等) 射出的波长 $1.099\ \mu\text{m}$ 的基波, 用非线性光学晶体进行 7 倍波的高次谐波发生, 发生和 F_2 激光器一样的波长的 157nm 的紫外光的构成例子。进而, 在本实施方案中的基波输出部分, 可以使用此前叙述过的实施方案 1~3 之一, 或者组合它们使用。

在图 14 所示的波长变换部分的构成例子中, 展示了按照基波 (波长 $1.099\ \mu\text{m}$) \rightarrow 2 倍波 (波长 549.5nm) \rightarrow 3 倍波 (波长 366.3nm) \rightarrow 4 倍波 (波长 274.8nm) \rightarrow 7 倍波 (波长 157nm) 的顺序进行波长变换的情况。在本实施例中, 在各波长变换部分中进行入射光的 2 次高次谐波发生, 或者和频发生。

其次, 在本例中作为在波长变换中使用的非线性光学晶体, 在从波长变换部分 702 中的基波中在通过发生 2 次高次谐波进行的 2 倍波的发生中使用 LBO 晶体, 在从波长变换部分 705 中的基波和 2 倍波中通过发生和频进行的 3 倍波的发生中使用 LBO 晶体。进而, 在从波长变换部分 710 中的 2 倍波中通过发生 2 次高次谐波进行的 4 倍波的发生中使用 BBO 晶体, 在从波长变换部分 712 中的 3 倍波和 4 倍波中通过发生和频进行的 7 倍波 (波长 157nm) 的发生中使用 SBBO 晶体。

另外, 从波长变换部分 (LBO 晶体) 702 发生的基波和 2 倍波入射到 $1/2$ 波长板 703, 在只把基波的偏光方向旋转 90 度的同时, 透过聚光透镜 704 入射到波长变换部分 (LBO 晶体)。波长变换部分 705 在从基波和 2 倍波中通过发生和频得到 3 倍波的同时, 并不被波长变换 2 倍波而使其透过。从波长变换部分 705 发生的 2 倍波和 3 倍波在分色镜 706 上分支, 透过其的 3 倍波通过聚光透镜 707, 在分色镜 708 上被反射入射到波长变换部分 712 中。另一方面, 在分色镜 706 上被反射的 2 倍波, 通过聚光透镜 709 入射到波长变换部分 710, 该波长变换部分 710 从 2 倍波中通过发生 2 次高次谐波发生 4 倍波。该 4 倍波, 通过激光透镜 711, 以及分色镜 708 入射到波长变换部分 712。该波长变换部分 712 从 3 倍波和 4 倍波中通过发生和频发生 7 倍波。

可是, 虽然在本实施例中设置成通过用分色镜 706 分支从第 2 级

波长变换部分 705 发生的 2 倍波和 3 倍波，使透过其的 3 倍波和在波长变换部分 710 中波长变换 2 倍波得到的 4 倍波通过相互不同的光路射入第 4 级波长变换部分 712，但也可以不使用分色镜 706、708 而把 4 个波长变换部分 702、705、710、712 配置在同一光轴上。

但是，在本实施例中在第 3 级波长变换部分 710 中发生的 4 倍波，其断面形状因离散现象而为椭圆形。因此，为了在以该光束为输入的第 4 级的波长变换部分 712 中得到良好的变换效率，希望整形成为入射光束的 4 倍波的光束形状，使其和 3 倍波的重叠良好。在本实施例中，因为可以把聚光镜 707、711 分别设置在各自的光路上，所以例如可以把圆柱透镜作为透镜 711 使用，可以容易进行 4 倍波的光束整形。因此，可以使和在第 4 级波长变换部分 712 中的 3 倍波的重叠变得良好，可以提高变换效率。

如上述实施方案 6 所示通过构成波长变换部分，就可以把在基波发生中发生的波长 $1.099\mu\text{m}$ 的基波，波长变换为 157nm 的紫外光。

接着，把本发明的光放大器以及波长变换部分的另一构成例作为实施方案 7 展示在图 15 中。在图 15 中展示，把波长变换部分设置成多个并行光路构成（在图例中是 4 光路的正方形配置），与此对应把多个光纤放大器 19 或者 25 的输出端分成 4 个线束（输出群）的同时，与这 4 个光纤线束输出端对应地各自设置聚光光学元件，以及波长变换部分的实施例。在本例子中，因为以使用图 1 或者图 2 所示的光放大器为前提，所以在 1 个光纤线束中捆扎 32 根光纤放大器 19 或者 25。进而，线束可以直接使用最终级的 EDFA 输出端或者 YDFA 输出端形成，但也可以在最终级的 EDFA 等上连接无掺杂的光纤，用该输出端形成线束。

另外，在把光纤放大器 19 或者 25 的输出端分成多个，形成多个光纤线束的情况下，在多个（在本例子中是 128 根）光纤放大器 19 或者 25 中，在激光的射出顺序中相邻的输出端（光纤放大器）最好设置成捆扎成相互不同的光纤线束的结构。例如，如果假设在激光射出的顺序中在该 128 根光纤放大器（19 或者 25）上附加 No.0~127 的代码，

则把 No.0、4、8、…、124 的光纤放大器作为第 1 光纤线束捆扎，把 No.1、5、9、…、125 的光纤放大器作为第 2 光纤线束捆扎，把 No.3、6、10、…、126 的光纤放大器作为第 3 光纤线束捆扎，把 No.4、7、11、…、127 的光纤放大器作为第 4 光纤线束捆扎。由此，可以等分入射到与每一光纤线束对应配置的波长变换部分中（非线性光学晶体）的脉冲光的时间间隔。

如图 15 所示从由 4 个光纤线束组成的光放大器（图 1 或者图 2）的输出端 841 射出的基波，在本例子中在第 3 级波长变换部分 842、843、844 中分别被波长变换。进而，虽然在本例子中可以使用在上述实施方案 4~6 中说明的波长变换部分（图 11、图 13、图 14）的任意一个，但在此说明使用图 11（a）所示的波长变换部分，即用 3 级非线性光学晶体（502~504）把基波（波长 $1.544\mu\text{m}$ ）波长变换为波长 193nm 的紫外光的例子。因而，波长 $1.544\mu\text{m}$ （频率 ω ）的基波，通过从图中左边向右边透过非线性光学晶体 842、843、844，就可以顺序波长变换为 2 倍波、4 倍波、8 倍波（波长 193nm）输出。

在图 15 中，从由 4 个光纤线束组成的光放大器的输出端 841 射出的基波（波长 $1.544\mu\text{m}$ ），通过与 4 个光纤线束对应分别设置的聚光透镜 845 入射到波长变换部分（非线性光学晶体）842，在此通过发生 2 次高次谐波发生基波的频率 ω 的 2 倍，即频率 2ω （波长 722nm）的 2 倍波。在波长变换部分 842 中发生的 2 倍波向右方向前进，通过聚光透镜 846 入射到下一个波长变换部分（非线性光学晶体）843。在此再次进行 2 次高次谐波的发生，发生入射波（2 倍波）的频率 2ω 的 2 倍，即相对基波具有 4 倍频率 4ω （波长 386nm）的 4 倍波。在波长变换部分 843 中发生的 4 倍波，通过聚光透镜 847 进而入射到右侧的波长变换部分（非线性光学晶体）844，在此进一步进行 2 次高次谐波发生，发生入射波（4 倍波）的频率 4ω 的 2 倍，即相对基波具有 8 倍频率 8ω （波长 193nm）的 8 倍波。

在本实施方案中作为在波长变换中使用的非线性光学晶体，例如作为在从波长变换部分 842 中从基波向 2 倍波的波长变换晶体使用

LBO 晶体，作为在波长变换部分 843 中从 2 倍波向 4 倍波变换的波长变换晶体使用 BBO 晶体，作为在波长变换部分 844 中从 4 倍波向 8 倍波变换的波长变换晶体使用 SBBO 晶体。

进而，在实施方案中展示了按照基波（波长 $1.544\mu\text{m}$ ） \rightarrow 2 倍波（波长 772nm ） \rightarrow 4 倍波（波长 386nm ） \rightarrow 8 倍波（波长 193nm ）的顺序波长变换的情况，但相当于在把已说明的实施方案 4 中的图 11(a) 的波长变换部分多个并行的情况。因而，把已经说明过的其它的波长变换部分构成的图 11(b)~图 11(d) 用和本实施方案相同的方法多个并行也可以形成和本实施例一样的构成。同样，也可以把图 13 以及图 14 分别所示的波长变换部分并行多个构成。

以下，参照图 16 说明与光放大器和波长变换部分的连接部分有关的本实施方案中的实施例 2。本实施例把图 15 所示的波长变换部分的构成设置成 5 光路的并行构成，与此一致地把光纤放大器的输出端分成 5 个形成 5 个光纤线束（输出群）。在该分支时不把光纤放大器的输出端等分 5 份，5 个光纤线束（输出群）的一部分（在图 15 中是 1 个光纤线束）的输出端 850 由单独或者少数的光纤放大器构成，其它（在图 15 中是 4 个）的光纤线束输出端 851 把等分成光纤放大器的数相同的多个光纤放大器捆扎构成。而后，这些输出光在被设置在每一输出群（光纤线束）上的波长变换部分 852~857 变换为规定波长的紫外光，例如提供给曝光装置。进而，3 级波长变换部分 852~854 分别由和多个（5 个）光纤线束相同数量的波长变换部分构成，被分别配置在该波长变换部分 852~854 的入射一侧的聚光光学元件 855~857 也分别由和光纤线束相同数量的激光透镜构成。

在此，当把本例子的紫外激光装置适用于曝光装置（图 19 或者图 20）的情况下，从 4 个光纤线束的输出端 851 分别发生的基波，在波长变换部分（852~857）中被波长变换为紫外光，该紫外光作为曝光用照明光通过照明光学系统照射在分划板上。即，4 个光纤线束作为曝光用光源使用。另一方面，从用单独或者少数的光纤放大器构成的光纤线束的输出端 850 发生，并被波长变换为紫外光的输出光，被导入

设置在曝光装置上的定位系统，或者监视系统等中。即，1个光纤线束（850）作为定位系统用光源等使用。进而，从光纤线束输出端850发生并被波长变换后的紫外光，例如通过被连接在第3级的波长变换部分854上的无掺杂光纤传送到定位系统等。

可是，虽然在图16中设置成把从4个光纤线束的输出端851发生的基波波长变换为紫外光后导入到照明光学系统，但该光纤线束的数目可以是1个也可以是多个。另外，虽然用于定位和监视的光纤线束是1个，但可以把其数量设置成多个，也可以把从该多个光纤线束射出的光分别导入不同的光学系统。

在本例子中，在曝光用光源和定位用或者监视用等中使用的光源为同一光源，曝光用照明光和定位用照明光等分支、放大，以及波长变换相同的单一波长振荡激光器的输出光，可以使用同一波长的紫外光。因此，通过曝光装置的照明光学系统和投影光学系统等的光学系统进行定位或者各种监视。因而，定位用光学系统等的设计变得容易，可以大幅度简化其构成，或者不需要其它设计，就可以简单地构筑曝光装置。进而，因为曝光用照明光的照射和定位用照明光等的照射不同时进行，所以最好通过例如在照明光路内分别设置快门，或者选择用TDM23分配脉冲光的通道，独立控制其照射的时刻。

进而，为了测量投影光学系统的焦点位置、投影倍率、象差，以及焦阑等，可以使用上述的定位用和监视用的紫外光，可以提高其测量精度。进而，在进行投影光学系统的成象面和感光基板（晶片）的调焦的情况下，也可以使用和曝光波长相同波长的光，并且通过投影光学系统进行其调焦，由此还可以同时实现定位精度的提高。

可是，如果采用上述的本实施方案（图15，图16），则把光纤放大器的光纤输出分成多个群，通过把输入光分配到非线性光学晶体上，就可以有效地降低对非线性光学晶体的入射能量。因而，可以解决在非线性光学晶体中的光吸收·热效果引起的输出低下和光损伤等问题。进而，光纤放大器的输出端的分支数（光纤线束数）并不限于4个或者5个，只要在2个以上即可。

接着,把在本发明的紫外光发生装置中的光放大器和波长变换部分的连接部分作为实施方案 8 说明。在此,光放大器的输出端如上述实施方案 1 和 2 所述将光纤放大器的光射出端捆扎成线束形状形成。这时,因为各光纤放大器的金属包层直径是 $125\mu\text{m}$,所以在捆扎了 128 根的输出端的线束的直径可以设置在 2mm 以下。

在此,线束的数目以及形状可以对照波长变换部分的构成和所需要的光源的形状确定,例如在实施方案 1、2 中展示了具有一个圆形断面的线束的情况(114, 29, 501, 601, 701 等)。这时,当光纤放大器的输出端部被形成例如图 9 或者图 10 所示的平坦面的情况下,在光纤线束的输出端和第 1 级的波长变换部分(非线性光学晶体)之间设置聚光透镜(例如图 15 的聚光透镜 845 等),通过把从光纤线束发生的光聚光在非线性光学晶体上,可以有效地使光纤放大器的输出光射入。

另外,图 17 展示本发明的该连接部分的另一实施例。在图 17 中,从捆扎了多个光纤放大器的光射出端的光纤线束输出端 901 射出基波,而在每个光纤放大器上配置透镜 902,通过该透镜 902 基波聚光在第 1 级波长变换部分(非线性光学晶体)903(例如在实施方案 4(图 11)中的 502、507、518、533 等)上。在本实施例中展示,把光纤线束整体的直径设置为 2mm ,把构成光纤线束的各光纤放大器的模直径设置为 $20\mu\text{m}$,用各个透镜 902,聚光在第 1 级波长变换部分 903 上的例子。进而,在第 1 级波长变换部分 903 和第 2 级波长变换部分 906 之间配置一对透镜 904、905,从波长变换部分 903 射出的光在以和射入到波长变换部分 903 时同样的条件射入波长变换部分 906。

在这样的实施方案中,如此选择聚光透镜 902 的倍率(例如在本实施例中是 10 倍),使得在非线性光纤晶体中的各光束直径为希望得到最适宜的高次谐波变换效率的大小。为了用各透镜 902 聚光各光纤输出,在从光纤线束中的全部光纤聚光的非线性晶体中的全部光束所占的大小(断面积),成为与聚光透镜的倍率无关的光纤线束自身的直径。因而,所需要的波长变换晶体的大小(断面),因为为光纤线束的

直径，所以可以使用数毫米方形大小的波长变换晶体很经济。进而，也可以代替设置透镜，把光纤输出端面直接加工成球面或者非球面的透镜形状使其具有聚光光学元件的功能。

接着，在图 18 中展示在光放大器和波长变换部分的连接部分中的光纤输出端的另一实施例。图 18 (a) 以及 (c) 所示的实施例，展示了把图 17 所示的聚光透镜 902，形成在每个光纤 452 的输出端部分，以及把它在每一输出群汇聚成线束形状的例子。在本例子中，虽然在每个光纤 452 的输出端部形成有聚光光学元件 453，但这也可以把已经用图 10 (a) 说明过的设置在光纤输出端上的窗部件 433 加工成透镜形状，使其具有聚光光学元件的功能。通过这样构成，在具备和图 17 同样的聚光功能的同时可以抑制光纤输出端面的损伤。

另外，图 18 (b) 是在捆扎多个光纤 462 的每一输出群上设置聚光元件 463 时的实施例。在本例子中，把例如图 15 所示的聚光透镜 845 形成在光纤线束的输出端部，把用图 10 (b) 已经说明过的窗部件 433 加工成球面的透镜形状使其具有聚光光学元件的功能。

进而，代替把光纤端部或者窗部件的输出面，加工成球面或者非球面的透镜形状，可以使用热离子交换法和电解离子交换法等离子交换法把光纤的端部，或者在作为窗部件使用玻璃窗时把玻璃窗端部的玻璃组成，通过离子交换部分地改变，由此通过使其具有和透镜同等的折射率分布而具有聚光光学功能。另外，虽然在图 18 (a) ~ (c) 中光纤内的纤芯 451、461 的直径未被扩大，但也可以并用该纤芯直径的扩大。

虽然第 2 级以后的向波长变换部分（非线性光学晶体）的聚光，和第 1 级的情况一样可以用各自的透镜进行每一光纤，或者每一线束的输出，但在本实施例中叙述了用共用的 1 组或者 1 个透镜使光纤线束的输出聚光的情况。通过这样使用共用的透镜，因为所使用的透镜的数量减少，透镜的校准也容易，所以是经济的。

进而，因为波长变换晶体（非线性光学晶体）的输出端位于用该波长变换晶体聚光的光束的瑞利长之中，所以从波长变换晶体射出的

光束在波长变换晶体的输出端大致为平行光。在本实施例（图 17）中展示了把该射出光束用一对透镜 904、905 聚光在第 2 级波长变换晶体 906 中的情况。在此，透镜对的焦点距离可以定为是在第 2 级波长变换部分 906 中希望得到最佳变换效率的光束直径的倍率。进而，在图 11、图 13、图 14 所示的波长变换晶体中聚光基波或者其高次谐波的聚光光学元件（例如如图 11（a）所示的 505、506 等）由 1 个透镜构成，但也可以如本实施例那样用一组透镜构成。

这样，通过用实施方案 1~3 所示的构成构成基波发生部分（聚光发生部分以及光放大器），用实施方案 4~7 所示的构成构成波长变换部分，另外用实施方案 8 所示的构成构成光放大器和波长变换部分的连接部分，就可以得到输出波长 157nm、193nm 等的紫外光输出。它们分别和 F_2 激光器、ArF 准分子激光器的振荡波长是同一波长。

而且，这样得到的紫外输出光，当例如在用实施方案 1 的基波发生部分构成的情况下，因为是以 3ns 的间隔发光的脉冲光，所以相互没有时间重叠，是被极其窄带化的单一波长的紫外光，并且各自的输出光没有相互干涉。另外，例如在使用实施方案 2 的基波发生部分构成的情况下得到的紫外输出光，因为是用约 78ns 的等间隔发生的脉冲光，所以相互没有时间重叠，是被极其窄带化后的单一波长的紫外光，而且各个输出光相互间没有干涉。

进而，例如在如特开平 8-334803 号公报中所揭示的固体紫外激光器阵列中，对于被并行化的各个基波激光器（每个聚光要素）分别需要波长变换部分，但如果采用本实施方案，则即使基波输出的光纤线束直径把全部通道加在一起也在 2mm 以下，所以仅用 1 组波长变换部分就可以进行全部通道的波长变换。而且，因为输出端是柔软的光纤，所以可以分开配置波长变换部分和单一波长振荡激光器以及分离器、分时光分支装置等的其他构成部分等配置的自由度极高。因而，使用本发明在可以以低价格提供紧凑，并且单一波长的空间相干性低的紫外激光装置。

以下说明本发明的紫外激光装置的实施方案 9。本实施方案的紫

外激光装置其特征是，上述第 1~第 8 实施方案所述的紫外激光装置是曝光装置用光源。

以下，参照图 19 说明使用本发明的紫外激光装置的曝光装置的实施例。在光刻工序中使用的曝光装置，其原理和照相制版一样，把在光掩模（分划板）上精细描绘的电路图案，光学地缩小投影在涂布有光刻胶的半导体晶片上转印。本发明的紫外激光装置 1261，和包含照明光学系统 1262、投影光学系统 1265 等的曝光装置整体设置成一体。这时，可以把紫外激光装置 1261 固定在支撑照明光学系统 1262 的台架上，或者可以单独把紫外激光装置 1261 固定在台架上。但是，最好分开设置被连接在紫外激光装置 1261 上的电源等。

另外，可以把紫外激光装置 1261 分为具有激光发生部分以及光放大器的第 1 部分，和具有波长变换部分的第 2 部分，把第 2 部分和照明光学系统 1262 一体地固定在台架上，把第 1 部分固定在和该台架不同的台架上。进而，可以把紫外激光装置 1261 整体配置在收纳曝光装置主体的箱内，或者也可以把紫外激光装置 1261 的一部分，例如波长变换部分配置在箱内，其余的部分配置在箱的外侧。另外，紫外激光装置 1261 的控制系统可以收纳在和箱分开配置的控制机架上，或者也可以把显示部分（显示器）、开关类等一体地配置在箱外侧，而剩余的部分配置在箱内。

而后，使用本发明被窄带化的并且空间干涉低的紫外光，用照明光学系统 1262 如在所需要的投影面上的照度分布均匀那样放大投影，照射在精细描绘有集成电路的电路图案的石英掩模（石英分划板）1263 上。分划板 1263 的电路图案，被投影光学系统 1265 以规定的缩小倍率缩小后投影在涂布有光刻胶的半导体晶片（例如硅晶片）1266 上，上述电路图案被成象并转印在晶片上。

照明光学系统 1262 被配置在和分划板 1263 的图案面大致共轭的面内，并且包含规定在分划板 1263 上的照明区域的视场光阑、在照明光学系统 1262 内规定在和分划板 1263 的图案面大致成为傅立叶变换关系的规定面上的紫外光的光量分布的孔径光阑，以及把射出孔径光

阑的紫外光照射在分划板 1263 上的聚光透镜等。这时，为了改变在其规定面（傅立叶变换面）上的紫外光的光量分布，可以在透镜旋转台上设置相互的形状和大小至少一方不同的多个孔径光阑，把根据分划板 1263 的图案选择出的多个孔径光阑的一个配置在照明光学系统 1263 的光路。另外，也可以在紫外激光装置 1261 的波长变换部分和视场光阑之间配置光学积分仪（均化器），只要在使用蝇眼透镜时把其光射出侧焦点面配置成和分划板 1263 的图案面大致成为傅立叶变换的关系，在使用棒状积分仪时把其光射出面配置成和分划板 1263 的图案面大致共轭即可。

进而，作为曝光装置的曝光开始快门，可以使用在实施方案 1~3 中已经说明的电光调制元件或者声光调制元件（12、22、32）。把电光调制元件或者声光调制元件从开闭状态即不发生脉冲（内部损失大的状态）状态切换到接通状态即发生脉冲（在脉冲状态下内部损失变小）状态，曝光开始。

进而，在具有紫外激光装置 1261 的曝光装置中，可以使构成紫外激光装置 1261 的单一波长振荡激光器输出连续光，或者也可以使单一振荡激光器脉冲振荡。特别是在后者，可以并用单一波长振荡激光器的电流控制和上述的电光调制元件或者声光调制元件的控制，控制被照射在分划板 1263 以及半导体晶片 1266 上的紫外光（脉冲光）的振荡间隔和振荡的开始及其停止等。另外，在本实施方案中的具有紫外激光装置 1261 的曝光装置中，不需要使用机械的快门控制在晶片 1266 上的紫外光的累计光量，例如在为了使紫外激光装置 1261 的输出（能量、中心波长、波长宽度等）稳定化地振荡紫外光时，可以在紫外激光装置 1261 和晶片 1266 之间的照明光路上配置快门，或者也可以驱动载物台 1267 使晶片 1266 避开紫外光的照射区域。

半导体晶片 1266 被搭载在具有驱动机构的载物台 1267 上，通过在每一次曝光结束时移动载物台，电路图案就被转印到半导体晶片上的不同位置。把这种载物台的驱动、曝光方式称为步进和重复方式。在载物台的驱动、曝光方式中，除此之外还有，在支撑分划板 1263 的

支撑部件 1264 上设置驱动机构，同步移动分划板和半导体晶片进行扫描曝光的步进和扫描方式，而此方法也可以适用本发明的紫外激光装置。

进而，在如使用本发明的紫外激光装置的曝光装置那样用紫外光进行曝光的曝光装置中，通常，是和照明光学系统 1262、投影光学系统 1265 一样是没有颜色校正的全石英透镜构成。另外，特别在紫外光的波长是 200nm 以下时，可以用萤石构成投影光学系统 1265 的多个折射光学元件中的至少一个，或者也可以使用组合至少一个反射光学元件（凹面镜、反射镜等）和折射光学元件的反射折射光学系统。

如上所述，使用了本发明的紫外激光装置的曝光装置与以往的其他方式（使用准分子激光器和固体激光器的曝光装置）相比是小型的，另外，因为各要素以光纤连接构成所以构成装置的各单元配置的自由度高。在图 20 中，展示产生这种本发明的紫外激光装置的特征的另一实施例。

该实施例通过分开配置在实施方案 1~3 中记述的激光装置的激光发生部分（单一波长激光器、光分支装置等）以及光放大器的构成部分，和在实施方案 4~7 中记述的波长变换部分，构成曝光装置。即，通过一方面把波长变换部分 1272 载置在曝光装置主体上，另一方面把紫外激光装置的其它部分（激光发生部分、光放大器等）1271 另外放置在曝光装置主体之外，用连接用光纤 1273 连接它们之间构成紫外激光装置。在此，连接用光纤 1273 可以是光纤放大器的光纤自身（例如在实施方案 1 中的光纤线束 114 等）、无掺杂的光纤，或者它们的组合。进而，紫外激光装置以外的曝光装置主体的部分可以用和图 19 相同的装置构成。

通过这样构成，就可以把光纤放大器的激发用半导体激光器和半导体激光器的驱动用电源、温度控制器等伴有发热的主要构成部分设置在曝光装置主体之外。因而，可以抑制曝光装置主体受到来自作为紫外曝光光源的紫外激光装置的发热的影响光轴的校准失常等因热引起的问题。

可是，如图 20 所示保持分划板 1263 的分划板载物台 1264 其构成是可以由驱动机构 1268 驱动在 X 方向、Y 方向移动，并且可以微小转动。另外，在晶片载物台 1267 上设置有基准标记板 FM，该基准标记板可以用于后述的基线测量等。进而在本例子中，设置有检测分划板 1263 上的校准标记的校准系统 1280，和与投影光学系统 1265 分开设置的偏轴方式的校准系统 1281。

校准系统 1280 在把曝光用照明光，或者和其是同一波长区域的照明光通过分划板 1263 上的校准标记，以及投影光学系统 1265 照射在基准标记板 FM 上的基准标记上的同时，用摄象元件（CCD）接收从两标记发生的光检测出其位置偏差，用于分划板 1263 的校准和校准系统 1282 的基线测量等中。偏轴方式的校准系统 1281 例如在把具有 550~750nm 的波长宽度的白光（宽频带光）照射在半导体晶片 1266 上的校准标记上的同时，使设置在其内部的指标标记的象和校准标记的象成象在摄影元件（CCD）上检测出两标记的位置偏差。进而，通过用校准系统 1280、1281 分别检测出基准标记板 FM 上的基准标记，就可以从其检测结果中测量出校准系统 1281 的基线量。进而，基线测量可以在半导体晶片的曝光开始前进行，但也可以在每次交换半导体晶片时进行基线测量，或者可以在多枚半导体晶片的曝光动作中只进行 1 次基线测量。但是，在分划板交换后必须进行基线测量。

在本例子中作为被连接在紫外激光装置（基波发生部分）1271 上的波长变换部分使用图 16 所示的波长变换部分。即，把从 4 个光纤线束输出端 851 发生的基波入射的波长变换部分 1272，和从光纤线束输出端 850 发生的基波入射的波长变换部分 1279 分开，波长变换部分 1272 一体地设置在波长照明光学系统 1280 的台架上，波长变换部分 1279 一体地设置在保持校准系统 1280 的台架上。这时，在光纤线束输出端 850 上连接连接用光纤 1278 把基波导入波长变换部分 1279。由此，在不需另外准备校准系统 1280 的光源的同时，可以使用和曝光用照明光同一波长的照明光检测出基准标记，可以进行高精度的标记检测。

进而，在本例子中，设置成把和曝光用照明光同一波长的照明光导入校准系统 1280 的结构，但也可以把比曝光用照明光的波长（例如 193nm）还长的波长的光导入校准系统 1280，或者 1281 等。即，在图 16 所示的 3 级波长变换部分中，例如只要把从第 2 级波长变换部分 853 射出的脉冲光用连接用光纤导入校准系统即可。另外，也可以在分支从第 1 级波长变换部分 852 射出的脉冲光的一部分分支的同时，在第 2 级波长变换部分 853 中波长变换其余的脉冲光，把从 2 个波长变换部分 852、853 分别射出的相互波长不同的 2 个脉冲光导入校准系统。

另外，在图 20 所示的曝光装置中，设置有波长控制装置 1274，它通过使用被设置在搭载基波发生部分 1271 内的单一波长振荡激光器，例如 DFB 半导体激光器（图 1 中的 11 等）的热沉上的温度调整器（例如珀耳帖元件）调整温度，控制 DFB 半导体激光器的振荡波长，即被照射在分划板 1263 上的紫外激光（曝光用照明光）的波长。波长控制装置 1274，通过以 0.001℃ 单位控制 DFB 半导体激光器的温度，进行紫外激光的中心波长的稳定化，以及投影光学系统 1265 的光学特性（象差、焦点位置、投影倍率等）的调整等。由此，可以提高在半导体晶片的曝光动作中的紫外激光的波长稳定性，并且可以简单地调整因紫外激光的照射，以及大气压变化等引起的投影光学系统 1265 的光学特性的变化。

进而，在图 20 所示的曝光装置中，设置有：脉冲控制部分 1275，它向把在基波发生部分 1271 内从单一波长振荡激光器（DFB 半导体激光器等）中发生的连续激光变换为脉冲光的光调制元件（图 1 中的 12 等）上施加驱动用电压脉冲；曝光控制部分 1276，它根据被涂布在半导体晶片 1266 上的光刻胶的灵敏度特性，在计算在电路图案转印时曝光该光刻胶所需要的脉冲数的同时，根据其脉冲数控制从脉冲控制部分 1275 输出的控制脉冲的发生时刻以及其大小等；控制装置 1277，它总体控制整个曝光装置。

在此，脉冲控制部分 1275 进行波长发生部分 1271 内的单一波长

振荡激光器（11等）的电流控制，也可以使该单一波长振荡激光器脉冲振荡。即，通过由脉冲控制部分1275进行电流控制，单一波长振荡激光器就可以切换输出连续光和脉冲光。在本实施例中，在通过脉冲控制部分1275使单一波长振荡激光器脉冲振荡的同时，通过上述的光调制元件的控制从该振荡的脉冲光（脉冲宽度是10~20ns）中只切出其一部分，即调制为1ns的脉冲光。由此，与只用光调制元件把连续光变换为脉冲光的情况相比，在可以容易发生脉冲宽度窄的脉冲光的同时，可以用曝光控制部分1276更简单地控制脉冲光的振荡间隔和振荡的开始及其停止等。

另外，脉冲控制部分1275进行单一波长振荡激光器的振荡控制，和施加在光调制元件上的电压脉冲的大小的控制的至少一方，使得在不仅进行单一波长振荡激光器的脉冲振荡的切换，而且进行在该脉冲振荡时的振荡间隔和脉冲宽度等的控制的同时，补偿脉冲光的输出变动。由此，可以补偿在脉冲光的振荡间隔的变更时，或者脉冲光的振荡再开始时等产生的脉冲光的输出变动。即，可以把每一脉冲的输出（强度）始终维持在大致一定值上。

进而脉冲控制部分1275调整在基波发生部分1271内串联排列的多个光纤放大器（图1中的13、18、19等）的至少一个的增益，通过只用该增益调整，或者和上述的光调整元件的控制并用，就可以控制在半导体晶片上的脉冲光的强度。进而，也可以同样控制与在光分支装置中并行分支的多个通道对应并行设置的光纤放大器的至少一个的增益。

另外，曝光控制部分1276在检测出从基波发生部分1271输出的基波，或者从波长变换部分1272输出的紫外光，或者在波长变换部分1272内例如从第1级或者第2级非线性光学晶体中输出的脉冲光的同时，根据该检测值（包含强度、波长，以及波长宽度等）控制脉冲控制部分1275，调整上述脉冲光的振荡间隔、其振荡的开始和停止，以及脉冲光的强度等。进而，该检测值还被输入波长控制装置1274，波长控制装置1274根据该检测值进行单一波长振荡激光器的温度控制，

调整曝光用照明光（紫外激光）的中心波长和波长宽度。

控制装置 1277 把从半导体晶片或者被附设在保持其的盒上的识别记号（条形码等）的读取装置（未图示），或者由操作员输入的与光刻胶的灵敏度特性有关的信息送到曝光控制部分 1276，曝光控制部分 1276 根据该输入信息计算在图案转印中所需要的曝光脉冲数。进而曝光控制部分 1276，根据曝光脉冲数和根据它确定的脉冲光的强度控制脉冲控制部分 1275，调整施加在光调制元件上的控制脉冲的振荡时刻及其大小。由此，控制曝光的开始和结束，以及被照射在半导体晶片 1266 上的脉冲光的强度，通过多个脉冲光的照射给予光刻胶的累计光量，被控制为根据其灵敏度的适宜曝光量。

进而，曝光控制部分 1276 向脉冲控制部分 1275 发送指令，通过进行单一波长振荡激光器的电流控制，只用其电流控制，或者通过和光调制元件的控制的并用就可以控制曝光（脉冲振荡）的开始和结束等。

在此，在作为在本例子中的基波发生部分 1271 使用图 1 或者图 2 的激光装置的情况下，用光调制元件切出的 1 个脉冲光被分为多个（128 个），但在本例子中也可以把被分支后的 128 个脉冲光作为 1 脉冲，以该脉冲单位进行曝光量控制，或者也可以把分支后的 128 个脉冲光分别作为 1 脉冲进行曝光量控制。进而，在进行后一种曝光量控制的情况下，也可以代替由脉冲控制部分 1275 进行的光调制元件的控制，调整基波发生部分 1271 内的光纤放大器的增益，控制在半导体晶片上的脉冲光的强度，或者并用这 2 种控制。

另外，图 20 所示的曝光装置，可以有选择地切换步进·重复方式和步进·扫描方式进行半导体晶片的曝光。在步进·重复方式中，驱动照明光学系统 1262 内的视场光阑（分划板载物台）调整其开口的大小等，使得分划板 1263 上的电路图案的全体用曝光用照明光照射。另一方面，在步进·扫描方式中，调整视场光阑的开口，使得在投影光学系统 1265 的圆形投影视野内曝光用照明光的照射区域被限制在沿着和分划板 1263 的扫描方向正交的方向延伸的狭窄矩形形状。因而，在

步进·扫描方式中因为只照明分划板 1263 上的电路图案的一部分，所以为了在半导体晶片上扫描曝光其电路图案的全体，与相对曝光用照明光使分划板 1263 相对移动同步地，用与投影光学系统 1265 的投影倍率相应的速度比使半导体晶片 1266 对曝光用照明光相对移动。

可是，在上述的扫描曝光时的曝光量控制中，调整用光调制元件规定的脉冲重复频率 f ，和用图 2 所示的 TDM23 规定的通道间的延迟时间的至少一方，在扫描曝光中从基波发生部分 1271 以等时间间隔振荡多个脉冲光。进而，根据光刻胶的灵敏度特性，调整在半导体晶片上的脉冲光的强度、半导体晶片的扫描速度、脉冲光的振荡间隔（频率），以及与半导体晶片的扫描方向有关的脉冲光（即其照射区域）的宽度的至少 1 个，把在半导体晶片上的各点横穿照射区域期间被照射的多个脉冲光的累计光量控制在适宜曝光量。这时，考虑生产能力，在曝光控制中最好调整其它的控制参数，即脉冲光的强度、振荡频率，以及照射区域宽度的至少 1 个，使得维持半导体晶片的扫描速度大致在最高速度。

另外，当用图 1 或者图 2 所示的激光装置进行扫描曝光时，在曝光量控制中最好把如上述那样分支的 128 个脉冲光分别作为 1 个脉冲以等时间间隔振荡。但是，如果根据半导体晶片的扫描速度调整该被分支后的 128 个脉冲光的振荡间隔，把该 128 个脉冲光看作 1 脉冲，即只要在照射 128 个脉冲光期间半导体晶片移动的距离不是使曝光量控制精度下降的重要原因的话，也可以把该 128 个脉冲该作为 1 脉冲进行曝光量控制。

进而，虽然在如上述的本发明的各实施方案中的说明中，说明了输出和 ArF 准分子激光器或者 F_2 激光器一样输出波长 193nm、157nm 的紫外激光装置的构成例子，但是本发明并不限于该波长的激光装置，通过适宜地选择激光发生部分、光放大器、波长变换部分的构成内容，也可以提供发生和例如 KrF 准分子激光器同样输出波长 248nm 的紫外激光装置。

例如，通过如此构成 4 倍高次谐波发生电路，即作为在激光发生

部分中的单一波长振荡激光器使用在 992nm 振荡的掺镱 (Yb) 光纤激光器或者半导体激光器, 作为光纤放大器使用掺镱光纤放大器, 作为波长变换部分把光纤放大器的输出用 LBO 晶体进行第 2 高次谐波的发生, 进一步把该输出用 BBO 晶体发生第 4 次高次谐波 (248nm) 的紫外光, 就可以提供发生和 KrF 准分子激光器一样的 248nm 的紫外光的紫外激光装置。

进而, 在上述实施方案中使用的光纤 (包含光纤放大器等) 最好用特氟隆覆盖在其表面。希望由该特氟隆形成的涂层包裹整个光纤, 但特别是被配置在收纳曝光装置整体的室内的光纤用特氟隆形成涂层。这是因为从光纤发生的异物能成为 (包含纤维等) 污染曝光装置的物质缘故, 可以防止由该污染物引起的构成照明光学系统、投影光学系统, 以及校准光学系统等的光学元件的模糊不清, 或者这些光学系统的透过率 (反射率) 和光学特性 (包含象差) 的变动, 或者在分划板或半导体晶片上的照度, 以及其分布的变动等。另外, 代替用特氟隆形成涂层, 也可以将设置在室内的光纤收纳在不锈钢制成的壳体内。

进而, 半导体器件经以下步骤制造: 进行其功能·性能设计的步骤、根据该设计步骤制造分划板的步骤、从硅材料中制造晶片的步骤、用上述曝光装置把分划板的图案转印到晶片上的步骤、器件的组装步骤 (切割工序、焊接工序、密封工序) 以及检测工序等。另外, 上述曝光装置不仅用于半导体元件的制造, 而且还可以用于例如液晶显示器、摄象元件 (例如 CCD 等)、薄膜磁头, 或者分划板的制造等。

进而, 在把由多个光学元件构成的照明光学系统以及投影光学系统组装到曝光装置主体中进行其光学调整的同时, 把由多个机械部件组成的分划板载物台和晶片载物台安装到曝光装置主体上并连接配线和配管, 进而通过进行综合调整就可以制造本实施例的曝光装置。另外, 在上述曝光装置中向曝光装置主体安装紫外激光装置, 或者用光纤连接被配置在曝光装置主体外的紫外激光装置 1261 的一部分 (激光发生部分和光放大器等) 和被配置在主体内的波长变换部分, 进行紫

外激光装置 1261（波长变换部分）和照明光学系统 1262 的光轴合一等。进而，曝光装置的制造希望在温度，以及洁净度等管理的净化间中进行。

进而在以上的实施方案 9 中是把本发明的激光装置适用于曝光装置的例子，但例如在为了切断被形成在晶片上的电路图案的一部分（熔化等）而使用的激光修复装置等上也可以使用本发明的激光装置。另外，本发明的激光装置也可以适用于使用可见光或者红外光的检查装置等。这种情况下，不需要把在上述实施方案 4~实施方案 7 中说明的波长变换部分装入激光装置中。即，本发明不仅对紫外激光装置有效，而且对发生可视区域或者红外区域的基波的没有波长变换部分的激光装置也有效。

图2

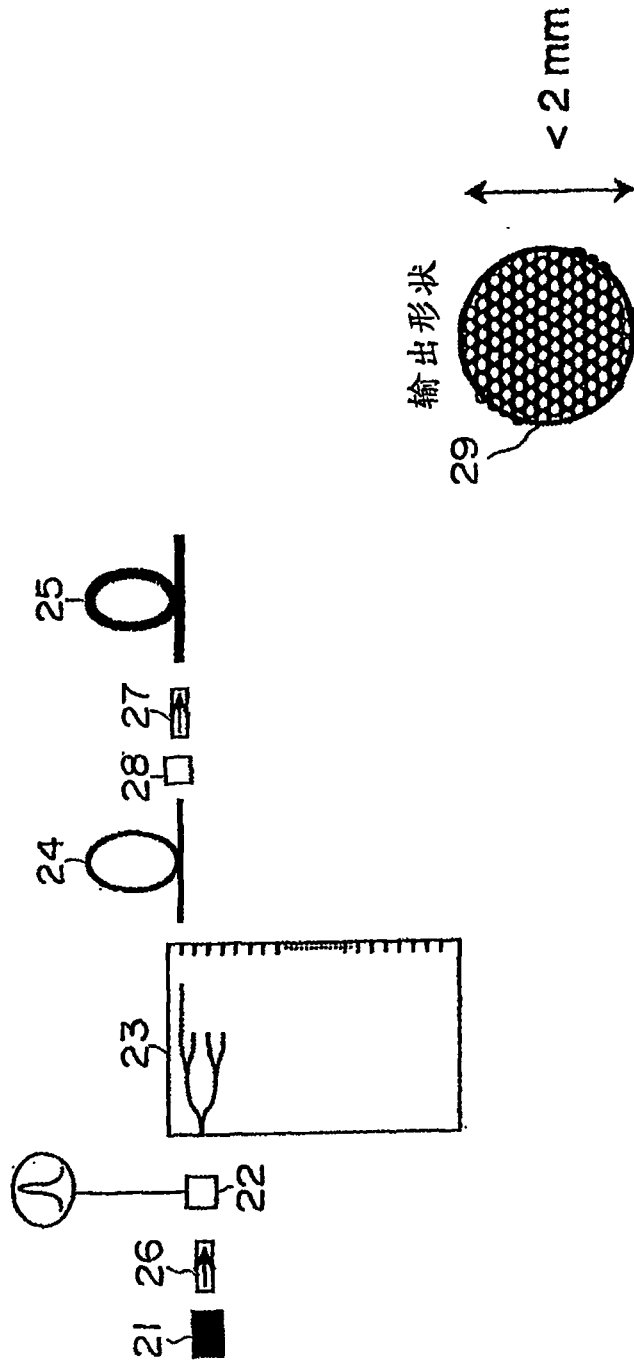
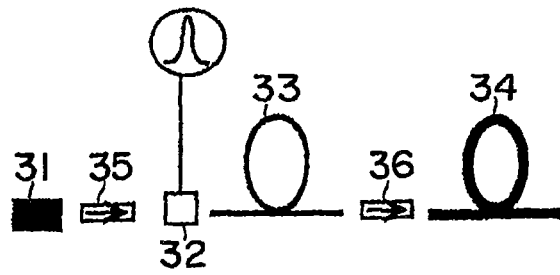


图 3



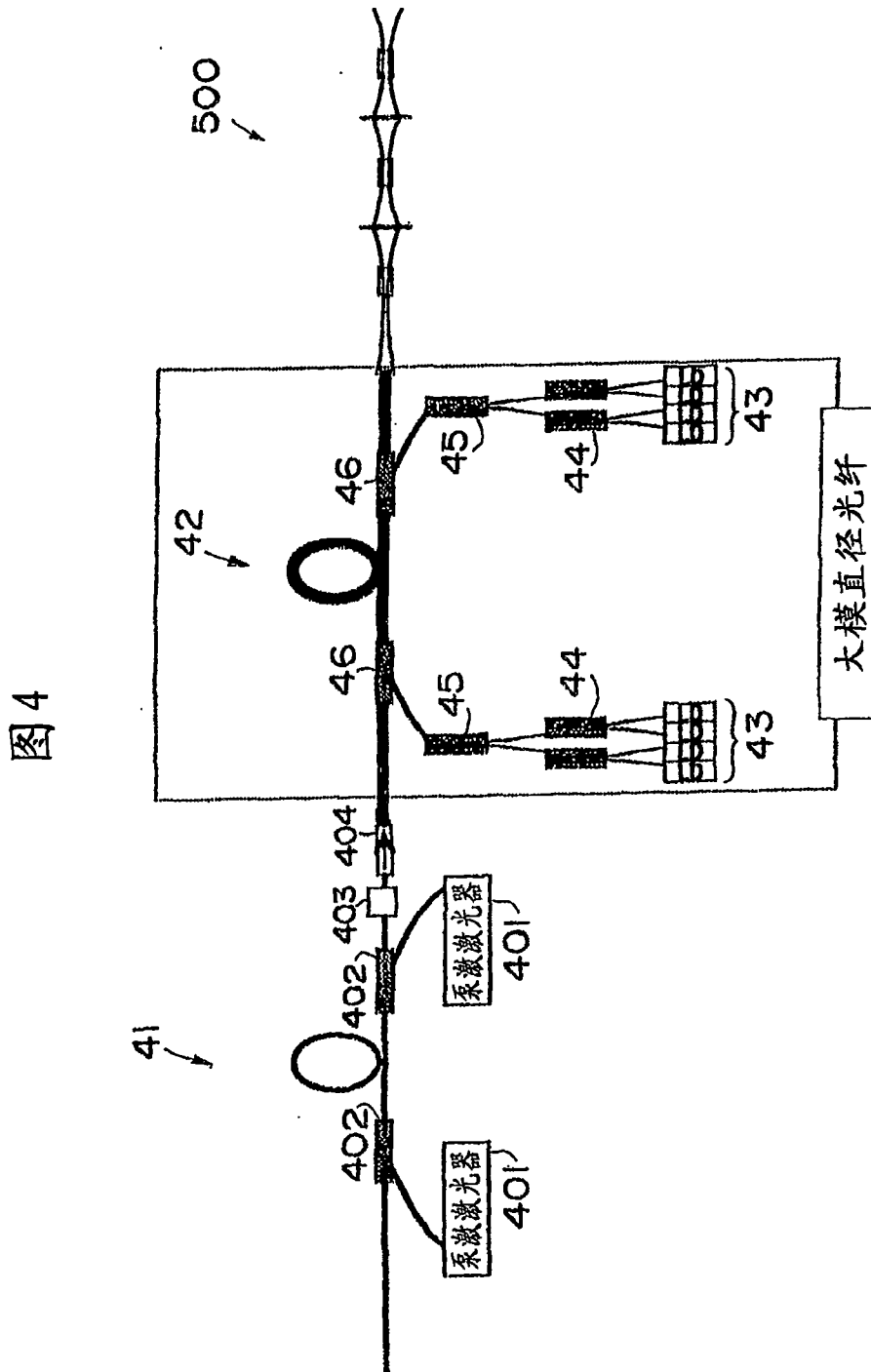


图4

图5

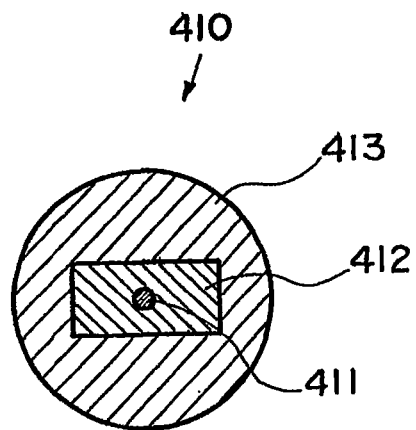


图6

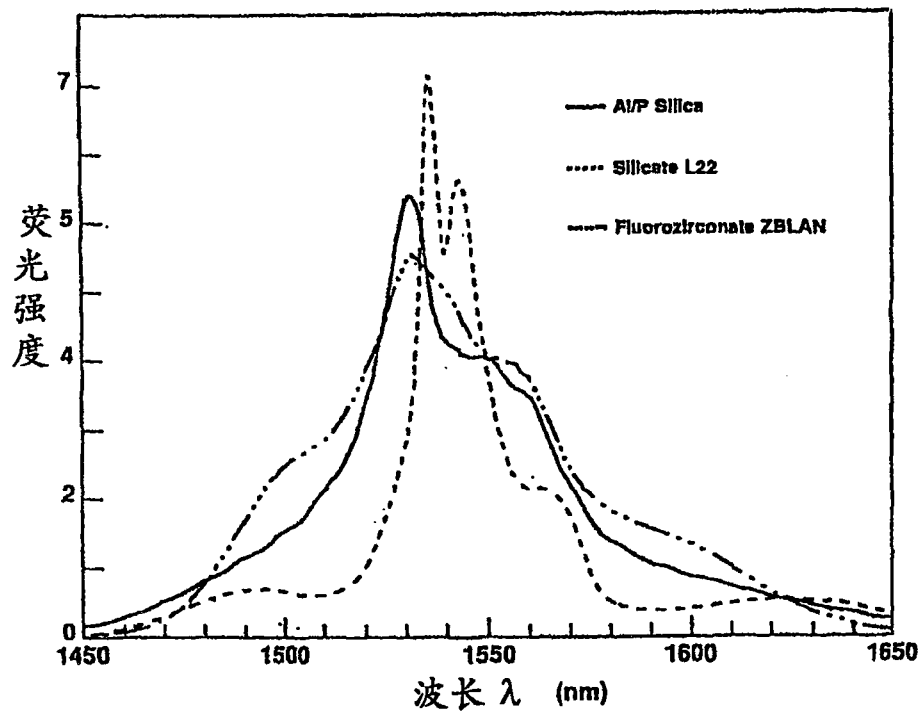


图7

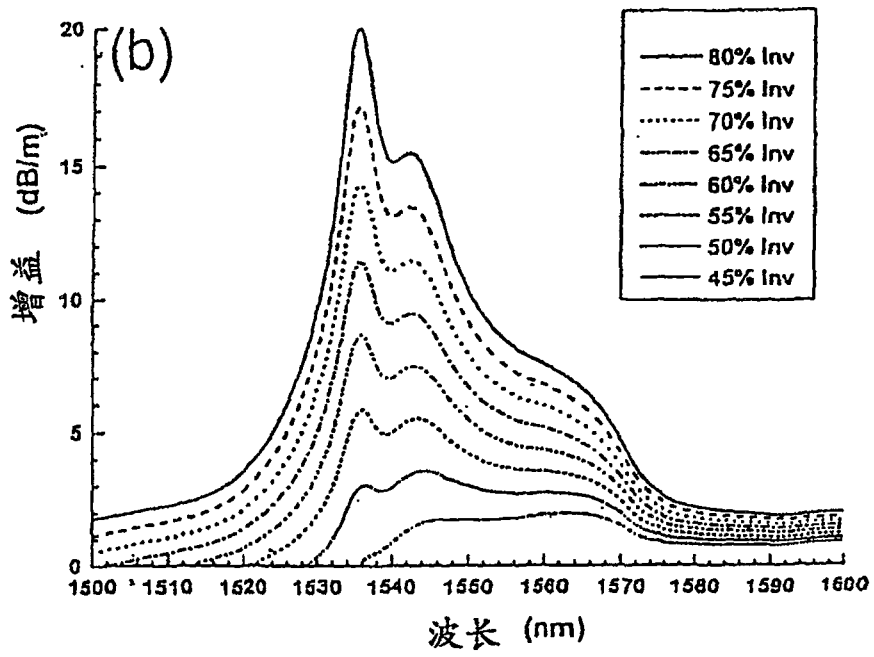


图8

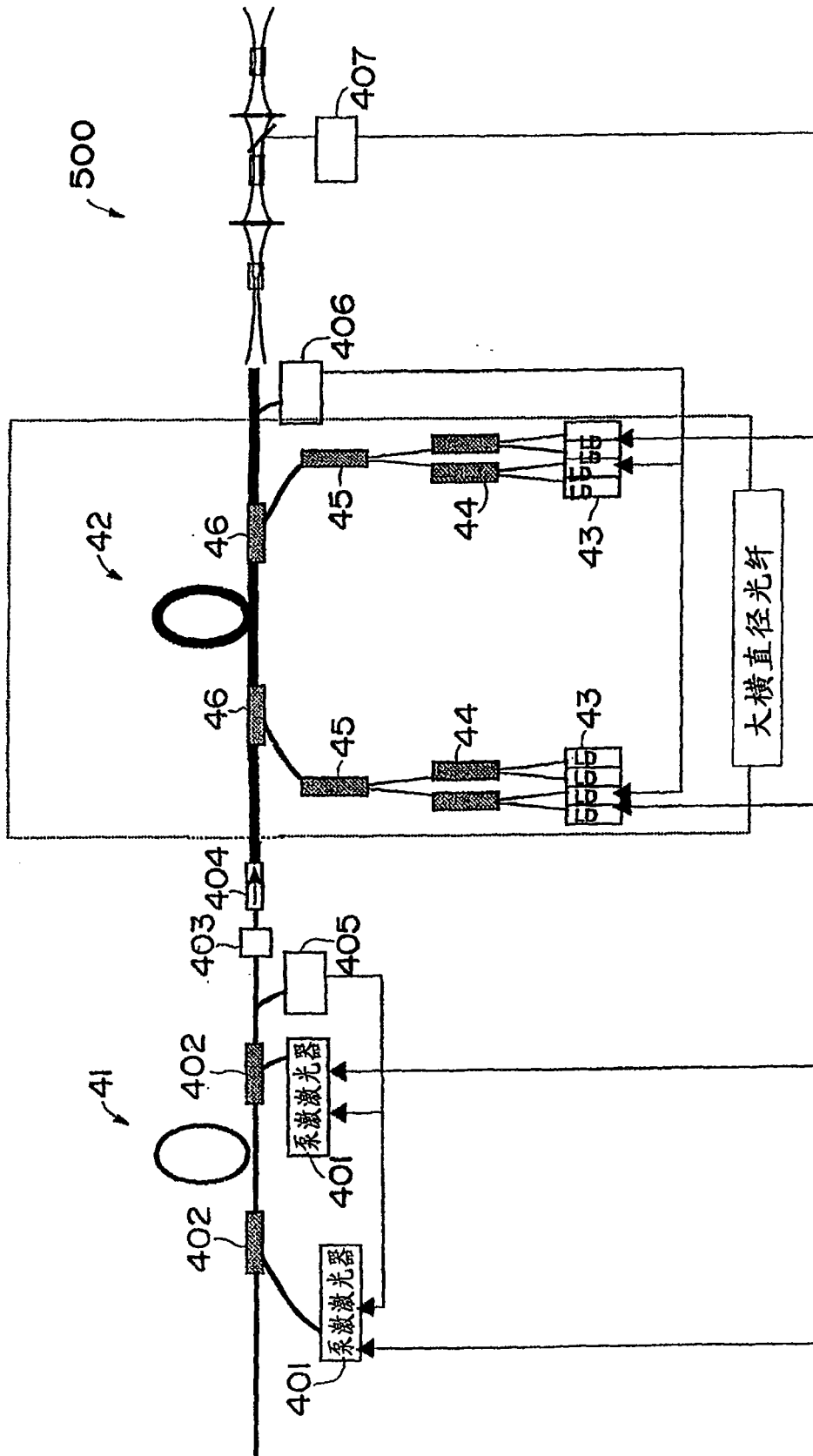


图9

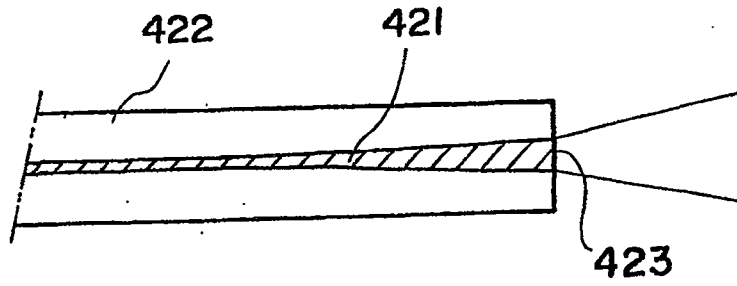


图10

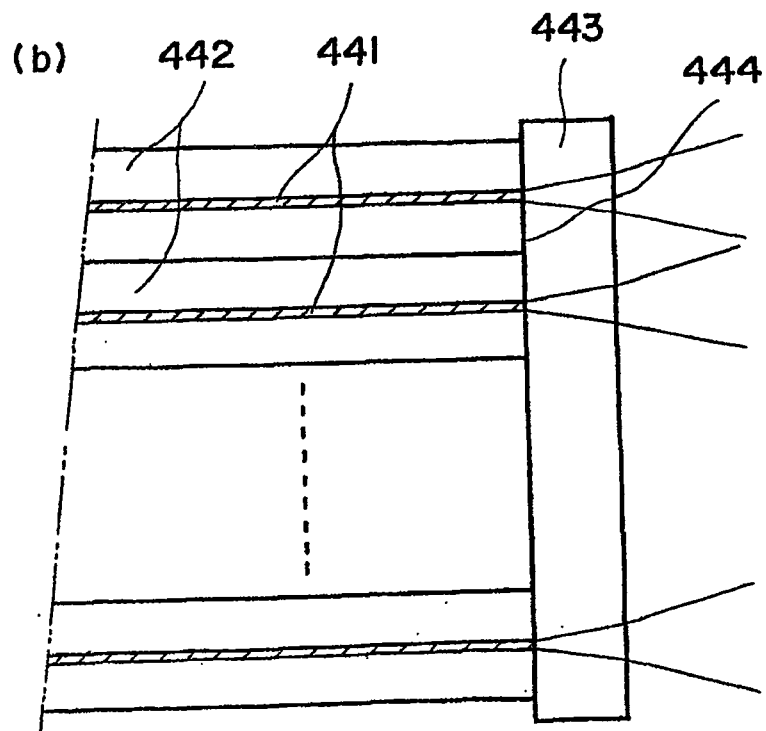
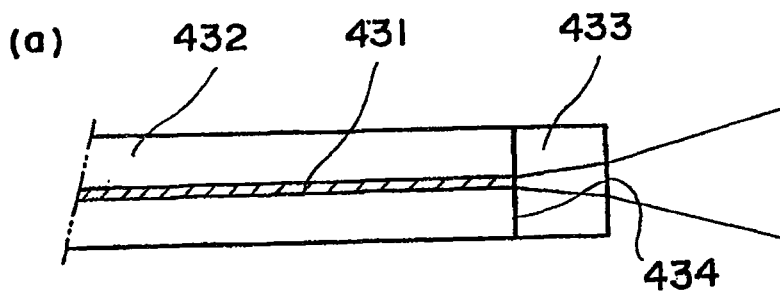


图 11

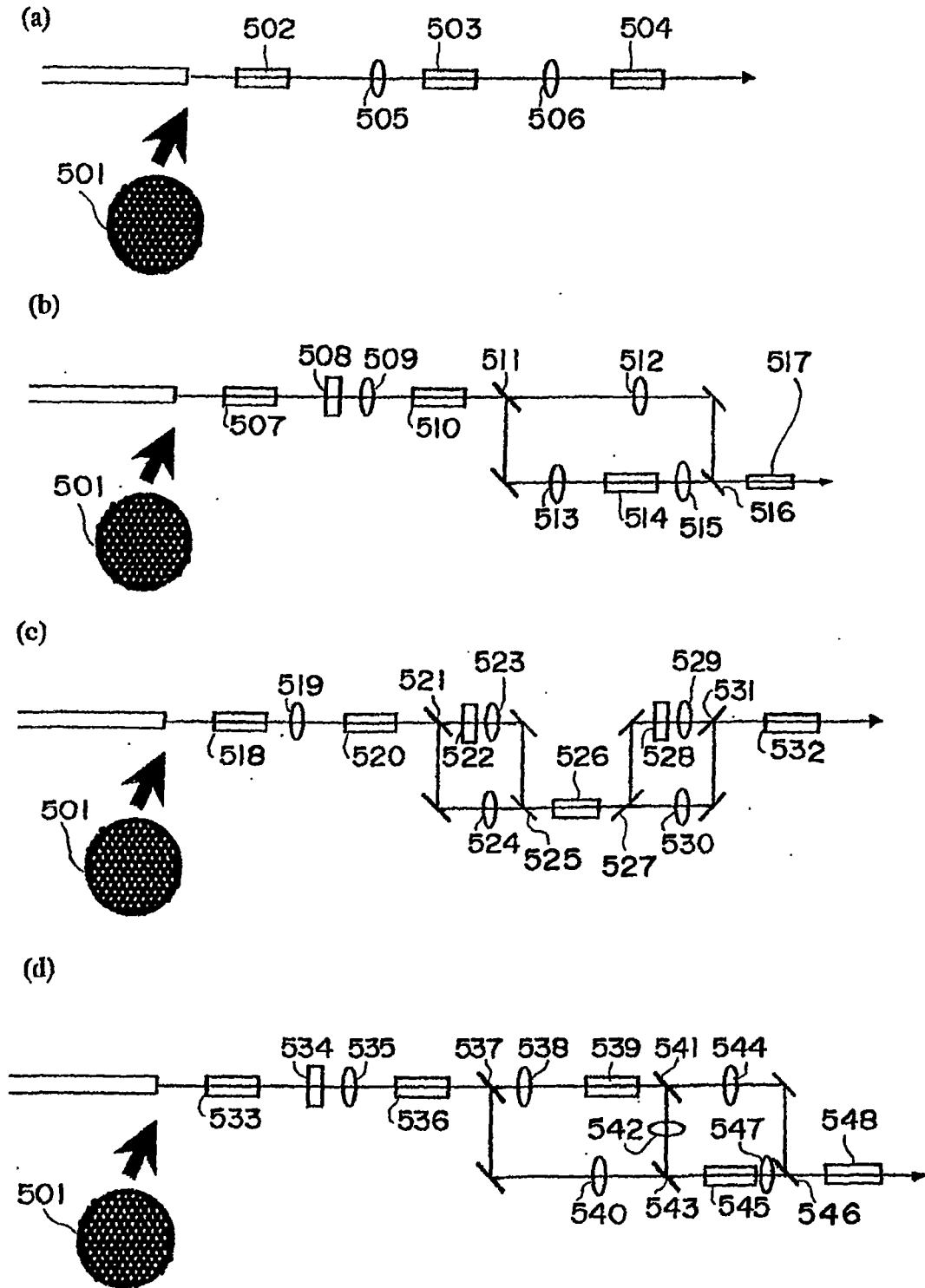


图 12

(a)

频率变换的形式	晶体	变换效率
$\omega + \omega \rightarrow 2\omega$	LBO	0.748
$2\omega + 2\omega \rightarrow 4\omega$	LBO	0.476
$4\omega + 4\omega \rightarrow 8\omega$	SBBO	0.321

输出波长 193nm, 峰值功率: 2.29kW, 平均功率 @100kHz, 1ns: 229mW

(b)

频率变换的形式	晶体	变换效率
$\omega + \omega \rightarrow 2\omega$	LBO	0.611
$\omega + 2\omega \rightarrow 3\omega$	LBO	0.909
$3\omega + 3\omega \rightarrow 6\omega$	BBO	0.307
$2\omega + 6\omega \rightarrow 8\omega$	BBO	0.177

输出波长 193nm, 峰值功率: 383W, 平均功率 @100kHz, 1ns: 38.3mW

(c)

频率变换的形式	晶体	变换效率
$\omega + \omega \rightarrow 2\omega$	LBO	0.748
$2\omega + 2\omega \rightarrow 4\omega$	LBO	0.476
$2\omega + 4\omega \rightarrow 6\omega$	BBO	0.308
$2\omega + 6\omega \rightarrow 8\omega$	BBO	0.184

输出波长 193nm, 峰值功率: 403W, 平均功率 @100kHz, 1ns: 40.3mW

(d)

频率变换的形式	晶体	变换效率
$\omega + \omega \rightarrow 2\omega$	LBO	0.633
$\omega + 2\omega \rightarrow 3\omega$	LBO	0.826
$2\omega + 2\omega \rightarrow 4\omega$	LBO	0.322
$3\omega + 4\omega \rightarrow 7\omega$	BBO	0.302
$\omega + 7\omega \rightarrow 8\omega$	LBO	0.251

输出波长 193nm, 峰值功率: 459W, 平均功率 @100kHz, 1ns: 45.9mW

图 13

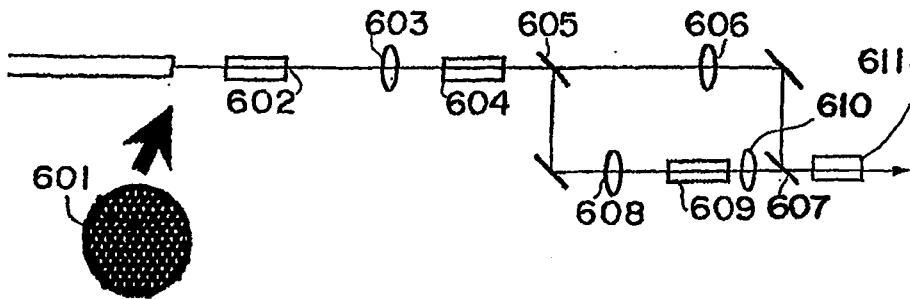


图 14

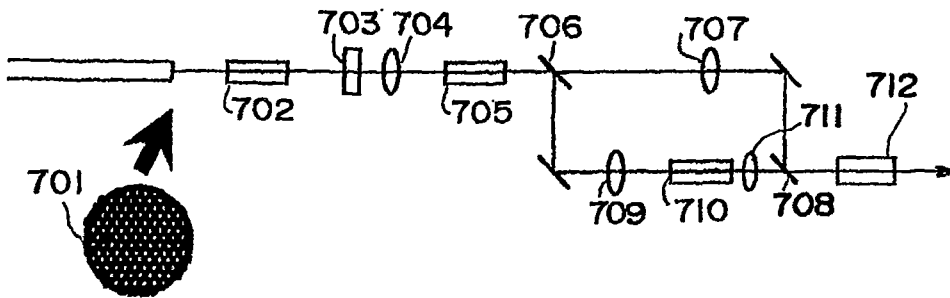


图15

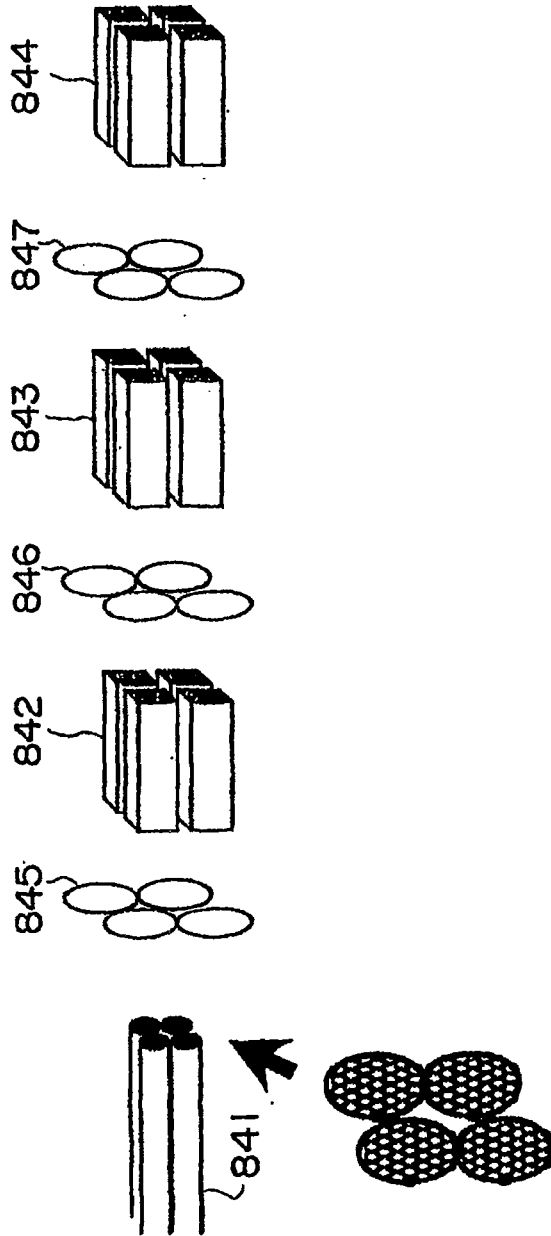


图16

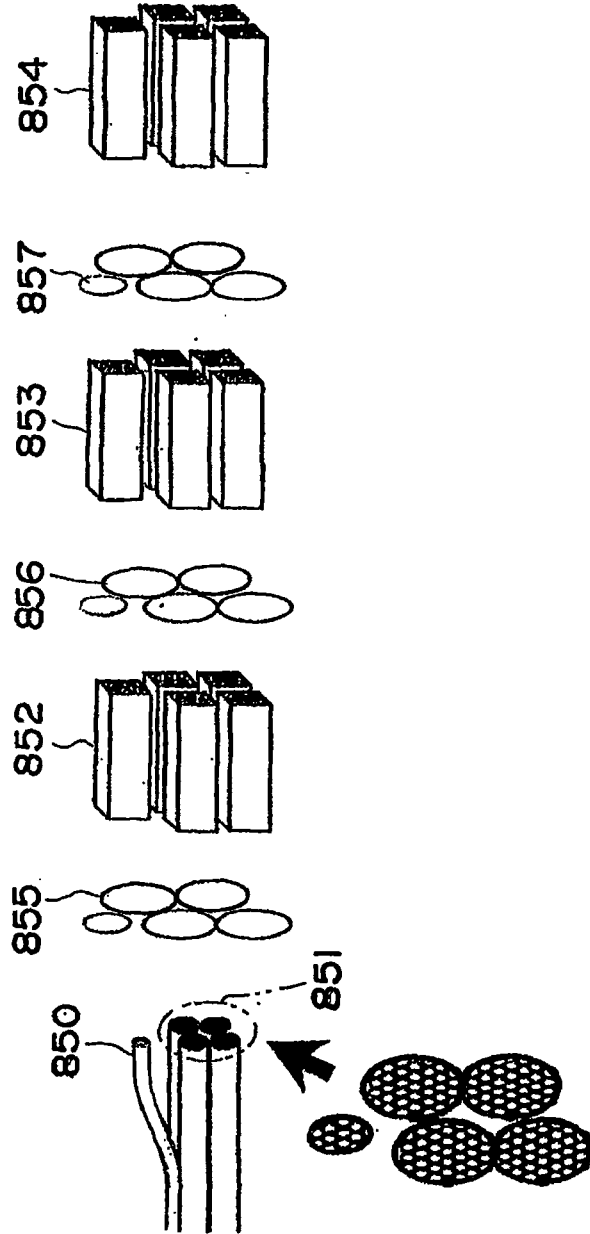


图17

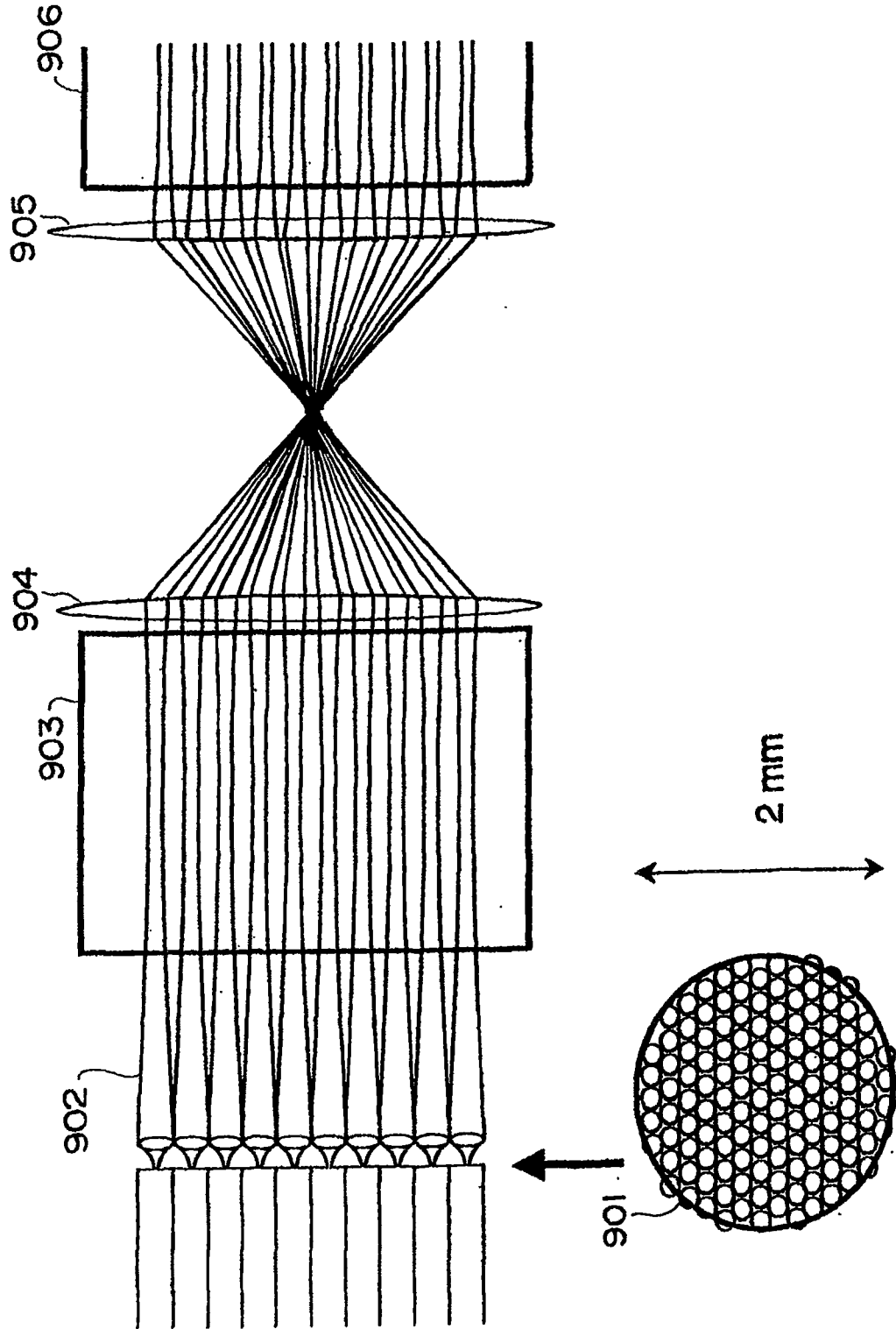


图18

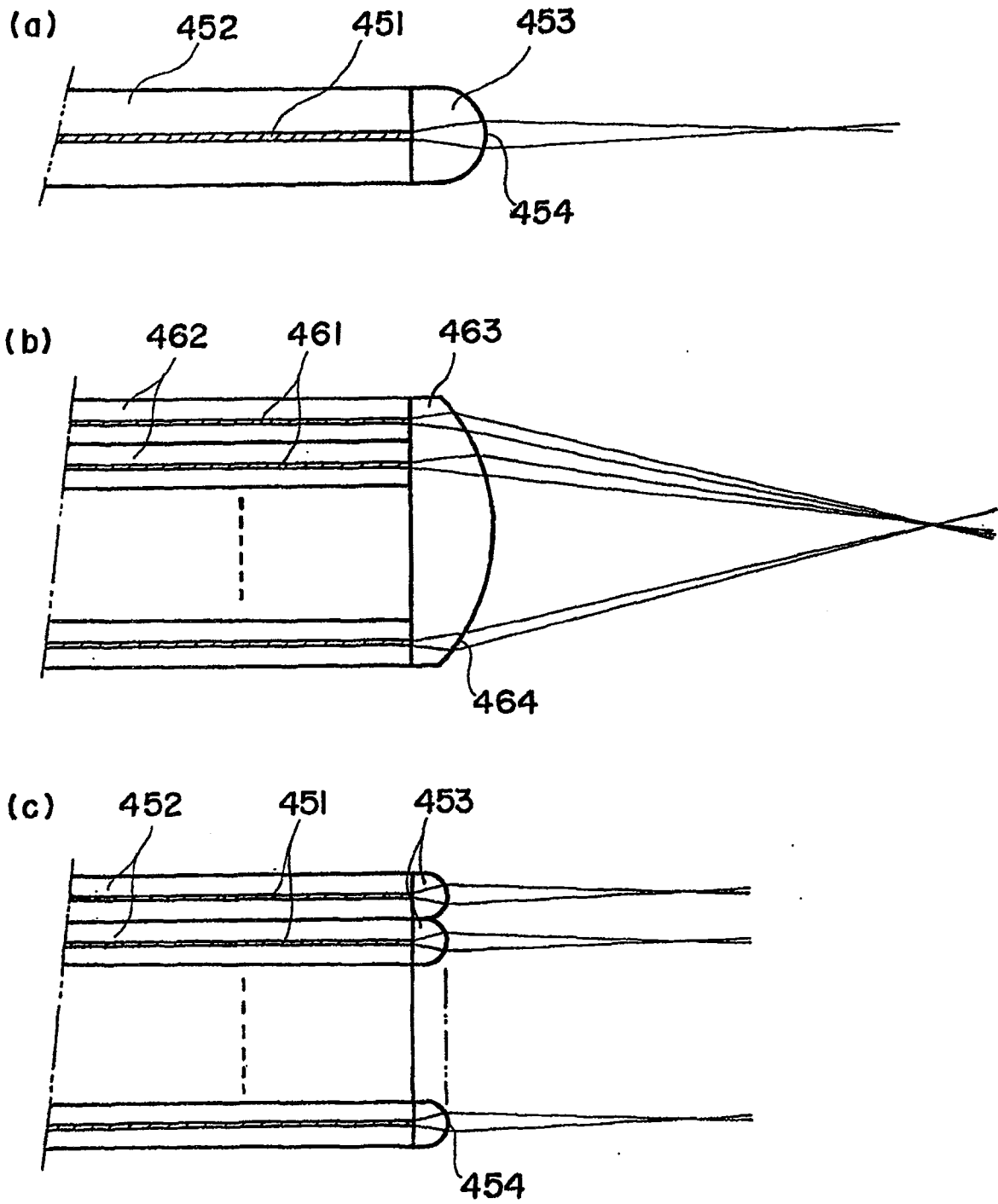
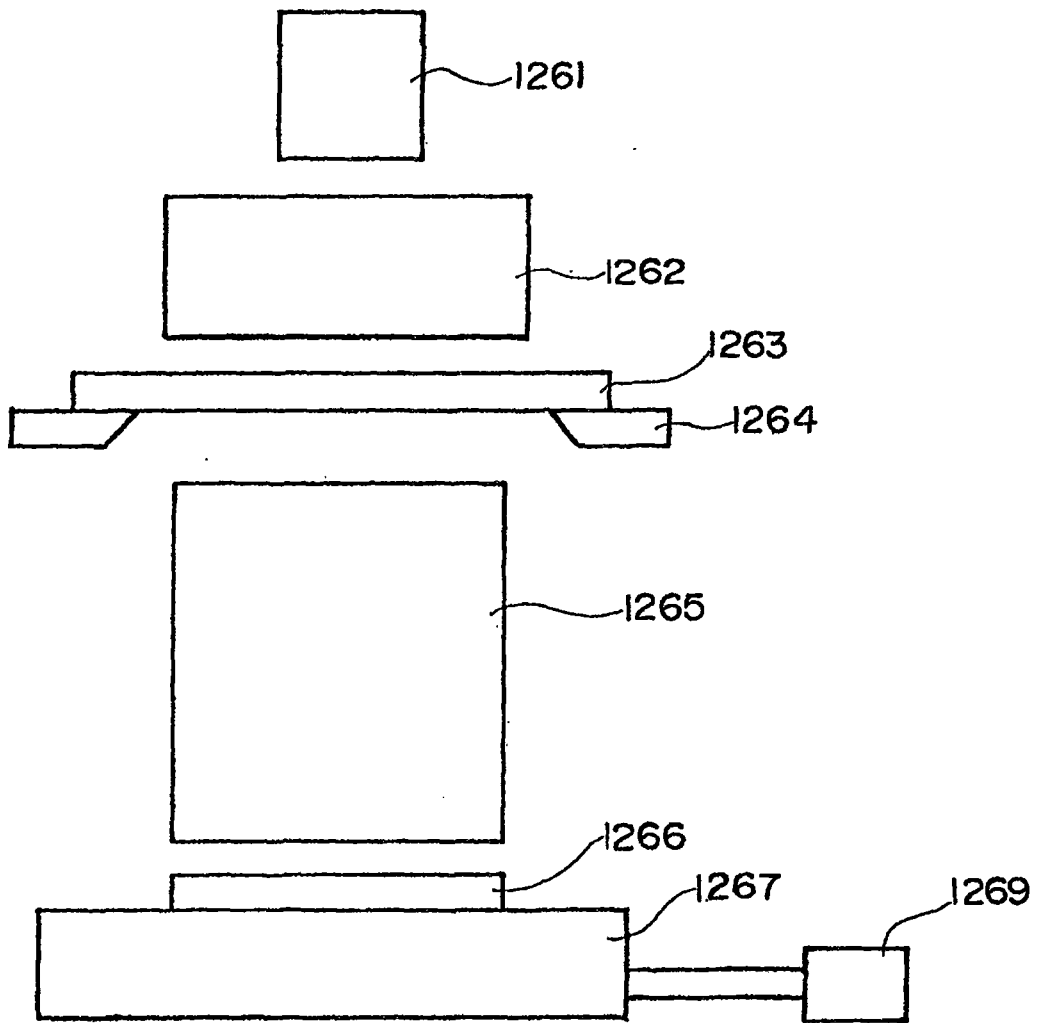


图19



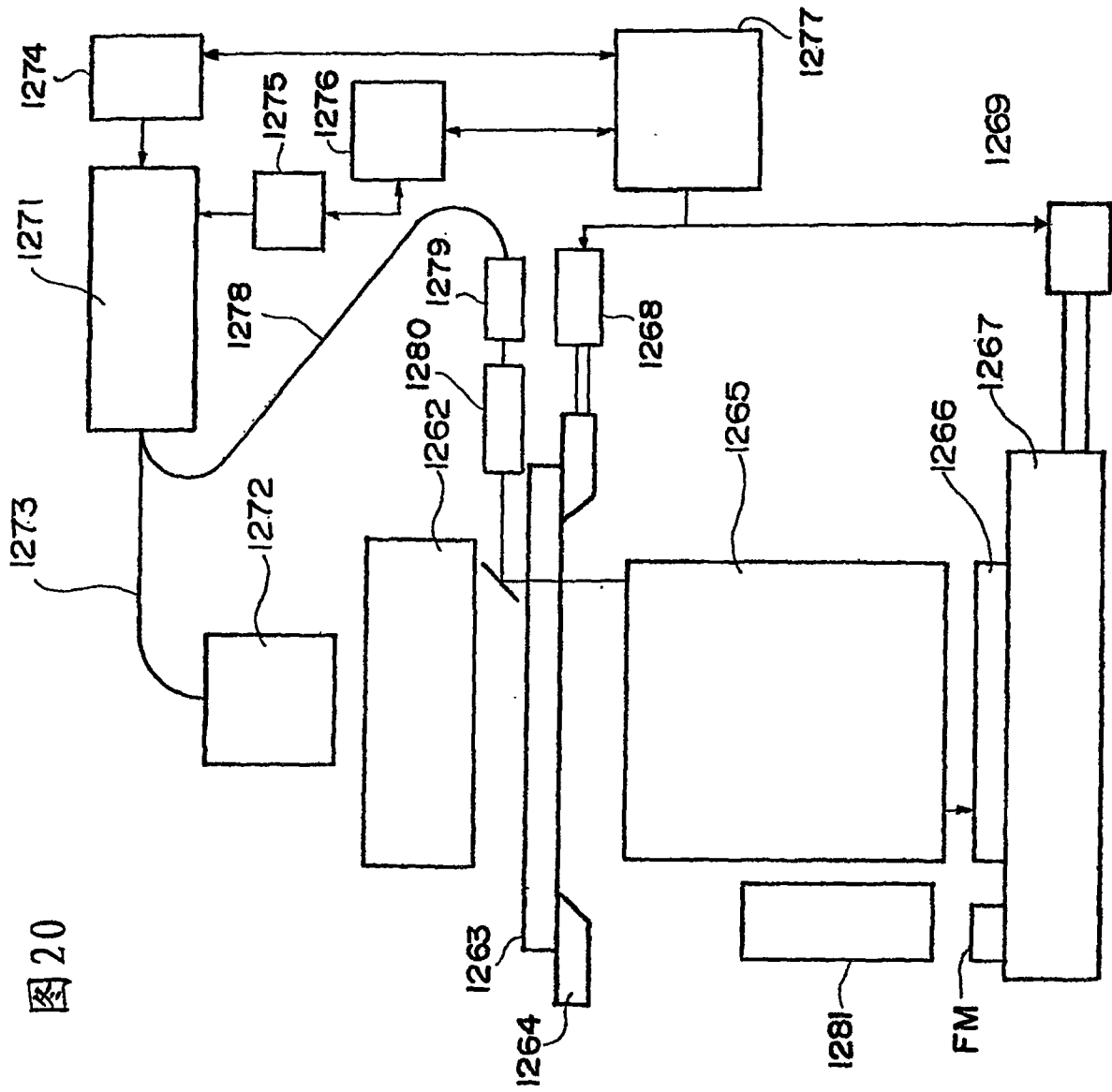


图 20