



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107533270 A

(43)申请公布日 2018.01.02

(21)申请号 201680022816.1

(74)专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司 11021

(22)申请日 2016.05.13

代理人 李国华

(30)优先权数据

2015-210487 2015.10.27 JP
62/160,953 2015.05.13 US

(51)Int.Cl.

G02F 1/35(2006.01)

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2017.10.19

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2016/064337 2016.05.13

(87)PCT国际申请的公布数据
W02016/182068 JA 2016.11.17

(71)申请人 古河电气工业株式会社
地址 日本国东京都

(72)发明人 大越春喜 森本政仁

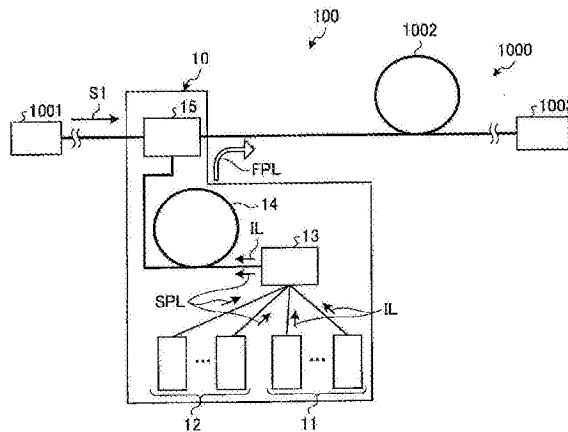
权利要求书3页 说明书15页 附图11页

(54)发明名称

拉曼放大用光源、拉曼放大用光源系统、拉曼放大器、拉曼放大系统

(57)摘要

一种拉曼放大用光源,用于对在光传输光纤中传输的信号光进行拉曼放大,其具备:输出非相干光的多个非相干光源;输出具有对所述非相干光进行拉曼放大的波长的二阶激励光的多个激励光源;与所述多个非相干光源以及所述多个激励光源进行连接,通过所述二阶激励光对所述非相干光进行拉曼放大并输出的拉曼放大用光纤;与所述光传输光纤连接,被输入通过所述拉曼放大用光纤进行拉曼放大后的非相干放大光,并将所述非相干放大光设为具有对所述信号光进行拉曼放大的波长的一阶激励光而输出到所述光传输光纤的输出部。



1. 一种拉曼放大用光源,用于通过光传输光纤中的受激拉曼散射现象对在该光传输光纤中传输的信号光进行拉曼放大,所述拉曼放大用光源的特征在于,具备:

多个非相干光源,输出非相干光;

多个激励光源,输出具有对所述非相干光进行拉曼放大的波长的二阶激励光;

拉曼放大用光纤,与所述多个非相干光源以及所述多个激励光源连接,通过所输入的所述二阶激励光对所输入的所述非相干光进行拉曼放大并输出;和

输出部,与所述光传输光纤连接,被输入通过所述拉曼放大用光纤进行拉曼放大后的非相干放大光,并将所述非相干放大光设为具有对所述信号光进行拉曼放大的波长的一阶激励光而输出到所述光传输光纤。

2. 根据权利要求1所述的拉曼放大用光源,其特征在于,

所述多个非相干光源以及所述多个激励光源与所述拉曼放大用光纤连接,使得所述二阶激励光对所述非相干光进行前向激励。

3. 根据权利要求1所述的拉曼放大用光源,其特征在于,

所述多个非相干光源以及所述多个激励光源与所述拉曼放大用光纤连接,使得所述二阶激励光对所述非相干光进行后向激励。

4. 根据权利要求1至3中任一项所述的拉曼放大用光源,其特征在于,

所述输出部与所述光传输光纤连接,使得所述一阶激励光对所述信号光进行前向激励。

5. 根据权利要求1至3中任一项所述的拉曼放大用光源,其特征在于,

所述输出部与所述光传输光纤连接,使得所述一阶激励光对所述信号光进行后向激励。

6. 一种拉曼放大用光源,用于通过光传输光纤对在该光传输光纤中传输的信号光进行拉曼放大,所述拉曼放大用光源的特征在于,具备:

多个非相干光源,输出非相干光;

多个激励光源,输出具有对所述非相干光进行拉曼放大的波长的二阶激励光;和

输出部,与所述多个非相干光源、所述多个激励光源以及所述光传输光纤连接,并将所输入的所述非相干光以及所述二阶激励光进行输出使得在所述光传输光纤中沿同一方向传播,

在所述光传输光纤中,通过所输入的所述二阶激励光对所输入的所述非相干光进行拉曼放大,生成具有对所述信号光进行拉曼放大的波长的一阶激励光。

7. 根据权利要求6所述的拉曼放大用光源,其特征在于,

具备:激励光源,输出具有对所述多个激励光源中的至少一个所输出的二阶激励光进行拉曼放大的波长的激励光。

8. 根据权利要求1至7中任一项所述的拉曼放大用光源,其特征在于,

所述多个非相干光源包含超辐射发光二极管、半导体光放大器以及具备稀土类添加光纤的放大自发辐射光源的至少一个。

9. 根据权利要求1至8中任一项所述的拉曼放大用光源,其特征在于,

所述多个非相干光源包含具有超辐射发光二极管以及半导体光放大器并且构成为由半导体光放大器对从超辐射发光二极管输出的非相干光进行光放大并输出的非相干光源。

10. 根据权利要求1至9中任一项所述的拉曼放大用光源,其特征在于,
所述多个非相干光源包含将半导体光放大器多级连接而构成的非相干光源。

11. 根据权利要求1至10中任一项所述的拉曼放大用光源,其特征在于,
所述多个激励光源包含法布里-珀罗型、将法布里-珀罗型和光纤布拉格光栅组合而成的法布里-珀罗-光纤布拉格光栅型、分布反馈型以及分布布拉格反射型的半导体激光器的至少一个。

12. 根据权利要求1至11中任一项所述的拉曼放大用光源,其特征在于,
所述多个非相干光源包含输出相互不同的波段的非相干光的非相干光源。

13. 一种拉曼放大用光源系统,其特征在于,
具备权利要求4所述的拉曼放大用光源和权利要求5所述的拉曼放大用光源,所述各拉曼放大用光源的输出部与所述光传输光纤连接,使得所述一阶激励光对所述信号光进行双向激励。

14. 一种拉曼放大用光源系统,其特征在于,
具备两个权利要求6所述的拉曼放大用光源,所述各拉曼放大用光源的输出部与所述光传输光纤连接,使得所述一阶激励光对所述信号光进行双向激励。

15. 一种拉曼放大用光源系统,用于通过光传输光纤对在该光传输光纤中传输的信号光进行拉曼放大,所述拉曼放大用光源系统的特征在于,具备:

第1光源部,具备:输出非相干光的第1多个非相干光源、和与所述第1多个非相干光源以及所述光传输光纤连接并将所述非相干光输出到所述光传输光纤的第1输出部;以及

第2光源部,具备:输出具有对所述非相干光进行拉曼放大的波长的二阶激励光的第1多个激励光源、和与所述第1多个激励光源以及所述光传输光纤连接并将所述二阶激励光输出到所述光传输光纤的第2输出部,

所述第1输出部和所述第2输出部与所述光传输光纤连接,使得所述非相干光和所述二阶激励光在所述第1输出部与所述第2输出部之间在所述光传输光纤中沿相反方向进行传播,

在所述第1输出部与所述第2输出部之间的所述光传输光纤中,通过所输入的所述二阶激励光对所输入的所述非相干光进行拉曼放大,生成具有对所述信号光进行拉曼放大的波长的一阶激励光。

16. 根据权利要求15所述的拉曼放大用光源系统,其特征在于,

所述第2光源部具备输出第2非相干光的第2多个非相干光源,该第2非相干光具有通过所述二阶激励光进行拉曼放大的波长,

所述第1光源部具备输出第2二阶激励光的第2多个激励光源,该第2二阶激励光具有对所述第2非相干光进行拉曼放大的波长,

所述第2光源部的第2输出部与所述第2多个非相干光源连接,将所述第2非相干光输出到所述光传输光纤,

所述第1光源部的第1输出部与所述第2多个激励光源连接,将所述第2二阶激励光输出到所述光传输光纤,

所述第1输出部和所述第2输出部与所述光传输光纤连接,使得所述第2非相干光和所述第2二阶激励光在所述第1输出部与所述第2输出部之间在所述光传输光纤中沿相反方向

进行传播，

在所述第1输出部与所述第2输出部之间的所述光传输光纤中，通过所输入的所述第2二阶激励光对所输入的所述第2非相干光进行拉曼放大，生成具有对所述信号光进行拉曼放大的波长的第2一阶激励光。

17. 根据权利要求13至16中任一项所述的拉曼放大用光源系统，其特征在于，

所述多个非相干光源包含超辐射发光二极管、半导体光放大器以及具备稀土类添加光纤的放大自发辐射光源的至少一个。

18. 根据权利要求13至17中任一项所述的拉曼放大用光源系统，其特征在于，

所述多个非相干光源包含具有超辐射发光二极管以及半导体光放大器并且构成为由半导体光放大器对从超辐射发光二极管输出的非相干光进行光放大并输出的非相干光源。

19. 根据权利要求13至18中任一项所述的拉曼放大用光源系统，其特征在于，

所述多个非相干光源包含将半导体光放大器多级连接而构成的非相干光源。

20. 根据权利要求13至19中任一项所述的拉曼放大用光源系统，其特征在于，

所述多个激励光源包含波长相互不同的法布里-珀罗型、将法布里-珀罗型和光纤布拉格光栅组合而成的法布里-珀罗-光纤布拉格光栅型、分布反馈型以及分布布拉格反射型的半导体激光器的至少一个。

21. 根据权利要求13至20中任一项所述的拉曼放大用光源系统，其特征在于，

所述多个非相干光源包含输出相互不同的波段的非相干光的非相干光源。

22. 一种拉曼放大器，其特征在于，具备：

权利要求1至12中任一项所述的拉曼放大用光源或权利要求13至21中任一项所述的拉曼放大用光源系统；和

所述光传输光纤。

23. 一种拉曼放大系统，其特征在于，具备：

权利要求1至12中任一项所述的拉曼放大用光源或权利要求13至21中任一项所述的拉曼放大用光源系统；和

所述光传输光纤。

拉曼放大用光源、拉曼放大用光源系统、拉曼放大器、拉曼放大系统

技术领域

[0001] 本发明涉及拉曼放大用光源、拉曼放大用光源系统、拉曼放大器、拉曼放大系统。

背景技术

[0002] 以前在光纤通信中,使用掺铒光纤放大器(EDFA),来进行了传输距离、传输容量的扩大。但是在当前,不仅使用EDFA还有效利用拉曼放大,将两者有效地进行组合成为必不可少的技术。当前,作为拉曼放大而主要使用的是,对拉曼放大用的光纤入射激励光使得沿与信号光的传播方向相反的方向进行传播的后向激励拉曼放大。但是,为了面向下一代的更加高速化(100Gb/s)、长距离化(100km传输)、宽带化(L,S-band的有效利用),将被称作前向激励拉曼放大的、对拉曼放大用的光纤入射激励光使得沿与信号光的传播方向相同的方向进行传播的方式和后向激励拉曼放大同时使用成为关键。该方式被称作双向激励拉曼放大。另外,已经存在如下报告,即,通过使用波分复用激励方式,仅利用后向激励拉曼放大也能够达成拉曼增益的平坦化、宽带化,但是若不利用双向激励拉曼放大则不能达成噪声指数(NF)的平坦化(非专利文献1、2)。

[0003] 在此,说明为什么除了以前广泛用作EDFA用激励光源的14XXnm波段半导体激光模块(LDM)以外,新需要非相干(incoherent)的前向激励拉曼放大用激励光源。对于拉曼放大特别是前向激励拉曼放大而言所必需的主要的特性列举如下。

[0004] (1) 低RIN转移(Relative Intensity Noise:相对强度噪声)

[0005] (2) 低SBS(Stimulated Brillouin Scattering:受激布里渊散射)

[0006] (3) 低非线性效应

[0007] 除此之外,为了应对当前的宽频带的波分复用传输(DWDM传输),

[0008] (4) 需要能够在宽频带的波长区域控制放大增益来进行光放大。

[0009] 所谓RIN,是以总光输出对激光的微小的强度变动分量进行了标准化的指标。拉曼放大的现象由于产生出增益的激励能级的寿命较短(\approx 数fsec),因此若在激励光源中存在强度噪声则直接通过放大过程而成为信号光的噪声。EDFA由于激励能级的寿命较长(\approx 10msec)所以不存在这样的担忧。关于拉曼放大,平均每单位长度的增益与EDFA相比非常小,但是在前向激励拉曼放大中,由于信号光和激励光在长距离内在光纤中一起传播,从而激励光的噪声慢慢转变为信号光的噪声。将此称为RIN转移。在后向激励拉曼放大中,因为信号光与激励光相对,所以具有某噪声分量的激励光和信号光交叉的时间较短,激励光的噪声对信号光造成的影响较少。此外,由于激励光的噪声是随机的,因此即使信号光受到影响也在相对前进的过程中被平均化。由上可知,前向激励拉曼放大要求RIN转移低的特性,特别是在信号光与激励光的群速度差较小、且在光纤内平行进行传输的时间较长的色散位移光纤(DSF)等中,该RIN转移的降低很重要。

[0010] SBS是三阶非线性光学效应之一,是光的一部分由于在光纤中由光激励产生的声学声子而向后方散射的现象。关于激励光,若发生SBS则激励光向后方散射,不会有效地有

助于拉曼放大,故而不优选。一般来说,若总光输出强度相同,则单模振荡、输出窄线宽的激光的激励光源容易产生SBS,所以增加振荡纵模的数量来减少了每条纵模的光输出的激励光源能够不会减少拉曼增益地抑制SBS。若是振荡纵模连续且具有较宽的频谱宽度的光源则能够更有效地抑制SBS。

[0011] 非线性效应会引起信号光的失真,致使通信品质劣化,所以必须避免。当前的光通信一般都是波分复用通信,即使一个波长的信号光的功率(power)较小,通过复用从而整体的功率变大。例如即使各波长的信号光的功率为1mW,若进行100波复用则整体的功率成为100mW。在对信号光进行光放大来补偿传输路径的损耗时,若以EDFA那样的集中常数型的放大器在某位置处将信号光一下子进行放大,则由于该放大后的信号光的功率一下子导入到传输路径中,因此容易引起非线性效应。为了避免这一情况,以拉曼放大的各种各样的分布常数型放大器逐渐进行放大是很有利的。但是,在前向激励拉曼放大中,在传输路径的入射侧,拉曼放大增益超过作为传输路径的光纤的传输损耗,在该部分光纤中的信号光的功率大于信号光的入射端处的功率,容易引起非线性效应。为了避免这一情况,研究了对拉曼激励光级联地反复进行拉曼放大直到能够作为信号光的激励光来使用的波长为止的高阶拉曼放大。例如,其是这样的原理,即,为了对1550nm波段的信号光进行拉曼放大而使用1450nm程度的波长的激励光,但是此时利用1350nm程度的波长的激励光对1450nm的激励光进行拉曼放大,该拉曼放大后的1450nm的激励光对1550nm波段的信号光进行拉曼放大。通过这样,从而在传输路径的入射端,对信号光进行拉曼放大的1450nm的激励光功率较小,因而1550nm波段的信号光的拉曼增益较小,随着信号光进行传输,1450nm的激励光通过1350nm的激励光而被放大,从而针对1550nm波段的信号光的拉曼增益变大。由此,若作为传输路径整体来看,则传输路径的损耗和拉曼增益良好地消除,从而能够看作犹如光纤的传输损耗为0那样的传输路径,能够进一步降低非线性效应。此时,将1450nm的激励光称为一阶激励光,将1350nm的激励光称为二阶激励光,将该系统称为二阶激励系统。基于同样的原理,研究了三阶、四阶这样的高阶的拉曼激励系统,但即便是这样的高阶拉曼激励系统,为了高品质的传输,低RIN转移、低SBS也是必须的。

[0012] 以往,为了解决上述的4个课题,公开了各种各样的技术(非专利文献3、4、专利文献1~4)。

[0013] 在先技术文献

[0014] 专利文献

[0015] 专利文献1:日本专利第3676167号公报

[0016] 专利文献2:美国专利第07190861号说明书

[0017] 专利文献3:美国专利第07215836号说明书

[0018] 专利文献4:美国专利第07233431号说明书

[0019] 非专利文献

[0020] 非专利文献1:S.Kado、Y.Emori、S.Namiki、N.Tsukiji、J.Yoshida、and T.Kimura: ECOC'01 (2001)、PD Paper 1.8.

[0021] 非专利文献2:江森,门,并木:“基于双向激励方式的拉曼放大器的噪声指数频谱设计”古河电工时报,第111号(2003),第10页

[0022] 非专利文献3:前向激励拉曼放大用激励光源的开发,古河电工时报,2003年7月,

No.112,第5-10页

[0023] 非专利文献4:Kafing Keita、Philippe Delaye、Robert Fray and Gerald Roosen、“Relative intensity noise transfer of large-bandwidth pump lasers in Raman fiber,”Journal of Optical Society America B、Vol.23、No.12、pp.2479-2485、December 2006.

发明内容

[0024] 发明要解决的课题

[0025] 但是,能够同时解决上述的4个课题的拉曼放大用光源、拉曼放大用光源系统、拉曼放大器以及拉曼放大系统尚未实现达到实用的程度的特性。

[0026] 本发明鉴于上述内容而作,其目的在于提供一种能够同时解决4个课题的拉曼放大用光源、拉曼放大用光源系统、拉曼放大器以及拉曼放大系统。

[0027] 用于解决课题的手段

[0028] 为了解决上述的课题,达成目的,本发明的一个方式所涉及的拉曼放大用光源是用于通过光传输光纤中的受激拉曼散射现象对在该光传输光纤中传输的信号光进行拉曼放大的拉曼放大用光源,其特征在于,具备:多个非相干光源,输出非相干光;多个激励光源,输出具有对所述非相干光进行拉曼放大的波长的二阶激励光;拉曼放大用光纤,与所述多个非相干光源以及所述多个激励光源连接,通过所输入的所述二阶激励光对所输入的所述非相干光进行拉曼放大并输出;和输出部,与所述光传输光纤连接,被输入通过所述拉曼放大用光纤进行拉曼放大后的非相干放大光,并将所述非相干放大光设为具有对所述信号光进行拉曼放大的波长的一阶激励光而输出到所述光传输光纤。

[0029] 本发明的一个方式所涉及的拉曼放大用光源的特征在于,所述多个非相干光源以及所述多个激励光源与所述拉曼放大用光纤连接,使得所述二阶激励光对所述非相干光进行前向激励。

[0030] 本发明的一个方式所涉及的拉曼放大用光源的特征在于,所述多个非相干光源以及所述多个激励光源与所述拉曼放大用光纤连接,使得所述二阶激励光对所述非相干光进行后向激励。

[0031] 本发明的一个方式所涉及的拉曼放大用光源的特征在于,所述输出部与所述光传输光纤连接,使得所述一阶激励光对所述信号光进行前向激励。

[0032] 本发明的一个方式所涉及的拉曼放大用光源的特征在于,所述输出部与所述光传输光纤连接,使得所述一阶激励光对所述信号光进行后向激励。

[0033] 本发明的一个方式所涉及的拉曼放大用光源是用于通过光传输光纤对在该光传输光纤中传输的信号光进行拉曼放大的拉曼放大用光源,其特征在于,具备:多个非相干光源,输出非相干光;多个激励光源,输出具有对所述非相干光进行拉曼放大的波长的二阶激励光;和输出部,与所述多个非相干光源、所述多个激励光源以及所述光传输光纤连接,并将所输入的所述非相干光以及所述二阶激励光进行输出使得在所述光传输光纤中沿同一方向传播,在所述光传输光纤中,通过所输入的所述二阶激励光对所输入的所述非相干光进行拉曼放大,生成具有对所述信号光进行拉曼放大的波长的一阶激励光。

[0034] 本发明的一个方式所涉及的拉曼放大用光源的特征在于,具备:激励光源,输出具

有对所述多个激励光源中的至少一个所输出的二阶激励光进行拉曼放大的波长的激励光。

[0035] 本发明的一个方式所涉及的拉曼放大用光源的特征在于,所述多个非相干光源包含超辐射发光二极管、半导体光放大器以及具备稀土类添加光纤的放大自发辐射光源的至少一个。

[0036] 本发明的一个方式所涉及的拉曼放大用光源的特征在于,所述多个非相干光源包含具有超辐射发光二极管以及半导体光放大器并且构成为由半导体光放大器对从超辐射发光二极管输出的非相干光进行光放大并输出的非相干光源。

[0037] 本发明的一个方式所涉及的拉曼放大用光源的特征在于,所述多个非相干光源包含将半导体光放大器多级连接而构成的非相干光源。

[0038] 本发明的一个方式所涉及的拉曼放大用光源的特征在于,所述多个激励光源包含法布里-珀罗型、将法布里-珀罗型和光纤布拉格光栅组合而成的法布里-珀罗-光纤布拉格光栅型、分布反馈型以及分布布拉格反射型的半导体激光器的至少一个。

[0039] 本发明的一个方式所涉及的拉曼放大用光源的特征在于,所述多个非相干光源包含输出相互不同的波段的非相干光的非相干光源。

[0040] 本发明的一个方式所涉及的拉曼放大用光源系统的特征在于,具备本发明的一个方式所涉及的拉曼放大用光源和本发明的一个方式所涉及的拉曼放大用光源,所述各拉曼放大用光源的输出部与所述光传输光纤连接,使得所述一阶激励光对所述信号光进行双向激励。

[0041] 本发明的一个方式所涉及的拉曼放大用光源系统的特征在于,具备两个本发明的一个方式所涉及的拉曼放大用光源,所述各拉曼放大用光源的输出部与所述光传输光纤连接,使得所述一阶激励光对所述信号光进行双向激励。

[0042] 本发明的一个方式所涉及的拉曼放大用光源系统是用于通过光传输光纤对在该光传输光纤中传输的信号光进行拉曼放大的拉曼放大用光源系统,其特征在于,具备:第1光源部,具备:输出非相干光的第1多个非相干光源、和与所述第1多个非相干光源以及所述光传输光纤连接并将所述非相干光输出到所述光传输光纤的第1输出部;以及第2光源部,具备:输出具有对所述非相干光进行拉曼放大的波长的二阶激励光的第1多个激励光源、和与所述第1多个激励光源以及所述光传输光纤连接并将所述二阶激励光输出到所述光传输光纤的第2输出部,所述第1输出部和所述第2输出部与所述光传输光纤连接,使得所述非相干光和所述二阶激励光在所述第1输出部与所述第2输出部之间在所述光传输光纤中沿相反方向进行传播,在所述第1输出部与所述第2输出部之间的所述光传输光纤中,通过所输入的所述二阶激励光对所输入的所述非相干光进行拉曼放大,生成具有对所述信号光进行拉曼放大的波长的一阶激励光。

[0043] 本发明的一个方式所涉及的拉曼放大用光源系统的特征在于,所述第2光源部具备输出第2非相干光的第2多个非相干光源,该第2非相干光具有通过所述二阶激励光进行拉曼放大的波长,所述第1光源部具备输出第2二阶激励光的第2多个激励光源,该第2二阶激励光具有对所述第2非相干光进行拉曼放大的波长,所述第2光源部的第2输出部与所述第2多个非相干光源连接,将所述第2非相干光输出到所述光传输光纤,所述第1光源部的第1输出部与所述第2多个激励光源连接,将所述第2二阶激励光输出到所述光传输光纤,所述第1输出部和所述第2输出部与所述光传输光纤连接,使得所述第2非相干光和所述第2二阶

激励光在所述第1输出部与所述第2输出部之间在所述光传输光纤中沿相反方向进行传播,在所述第1输出部与所述第2输出部之间的所述光传输光纤中,通过所输入的所述第2二阶激励光对所输入的所述第2非相干光进行拉曼放大,生成具有对所述信号光进行拉曼放大的波长的第2一阶激励光。

[0044] 本发明的一个方式所涉及的拉曼放大用光源系统的特征在于,所述多个非相干光源包含超辐射发光二极管、半导体光放大器以及具备稀土类添加光纤的放大自发辐射光源的至少一个。

[0045] 本发明的一个方式所涉及的拉曼放大用光源系统的特征在于,所述多个非相干光源包含具有超辐射发光二极管以及半导体光放大器并且构成为由半导体光放大器对从超辐射发光二极管输出的非相干光进行光放大并输出的非相干光源。

[0046] 本发明的一个方式所涉及的拉曼放大用光源系统的特征在于,所述多个非相干光源包含将半导体光放大器多级连接而构成的非相干光源。

[0047] 本发明的一个方式所涉及的拉曼放大用光源系统的特征在于,所述多个激励光源包含波长相互不同的法布里-珀罗型、将法布里-珀罗型和光纤布拉格光栅组合而成的法布里-珀罗-光纤布拉格光栅型、分布反馈型以及分布布拉格反射型的半导体激光器的至少一个。

[0048] 本发明的一个方式所涉及的拉曼放大用光源系统的特征在于,所述多个非相干光源包含输出相互不同的波段的非相干光的非相干光源。

[0049] 本发明的一个方式所涉及的拉曼放大器的特征在于,具备:本发明的一个方式所涉及的拉曼放大用光源或拉曼放大用光源系统、和所述光传输光纤。

[0050] 本发明的一个方式所涉及的拉曼放大系统的特征在于,具备:本发明的一个方式所涉及的拉曼放大用光源或拉曼放大用光源系统、和所述光传输光纤。

[0051] 发明效果

[0052] 根据本发明,取得能够实现能同时解决4个课题的拉曼放大用光源、拉曼放大用光源系统、拉曼放大器以及拉曼放大系统这样的效果。

附图说明

[0053] 图1是使用了实施方式1所涉及的拉曼放大用光源的拉曼放大系统的示意性结构图。

[0054] 图2是表示WDM耦合器的结构的一例的图。

[0055] 图3是表示WDM耦合器的结构的另一例的图。

[0056] 图4是表示非相干光以及二阶激励光的波长的配置的一例的图。

[0057] 图5是使用了实施方式2所涉及的拉曼放大用光源的拉曼放大系统的示意性结构图。

[0058] 图6是使用了实施方式3所涉及的拉曼放大用光源的拉曼放大系统的示意性结构图。

[0059] 图7是使用了实施方式4所涉及的拉曼放大用光源的拉曼放大系统的示意性结构图。

[0060] 图8是使用了实施方式5所涉及的拉曼放大用光源的拉曼放大系统的示意性结构图。

图。

[0061] 图9是使用了实施方式6所涉及的拉曼放大用光源的拉曼放大系统的示意性结构图。

[0062] 图10是使用了实施方式7所涉及的拉曼放大用光源系统的拉曼放大系统的示意性结构图。

[0063] 图11是使用了实施方式8所涉及的拉曼放大用光源系统的拉曼放大系统的示意性结构图。

[0064] 图12是使用了实施方式9所涉及的拉曼放大用光源系统的拉曼放大系统的示意性结构图。

[0065] 图13是使用了实施方式10所涉及的拉曼放大用光源系统的拉曼放大系统的示意性结构图。

[0066] 图14是表示非相干光源的结构例子的图。

具体实施方式

[0067] 以下,参照附图对本发明所涉及的拉曼放大用光源、拉曼放大用光源系统、拉曼放大器以及拉曼放大系统的实施方式详细进行说明。另外,本发明并不限于这些实施方式。此外,在各附图中,对于相同或对应的要素适当标注相同的符号。

[0068] (实施方式1)

[0069] 图1是使用了实施方式1所涉及的拉曼放大用光源的拉曼放大系统的示意性结构图。如图1所示,拉曼放大系统100应用于光传输系统1000,光传输系统1000具备:发送1.55 μ m波段的WDM信号光即信号光S1的发送器1001;作为对信号光S1进行传输的传输路径的光传输光纤1002;和接收信号光S1的接收器1003。拉曼放大系统100由拉曼放大用光源10和光传输光纤1002构成。另外,本实施方式1所涉及的拉曼放大系统100以及以下所示的各实施方式所涉及的拉曼放大系统也构成为拉曼放大器。

[0070] 拉曼放大用光源10具备:多个非相干光源11、多个激励光源12、WDM耦合器13、拉曼放大用光纤14、和作为输出部的WDM耦合器15。

[0071] 多个非相干光源11分别输出具有彼此不同的波长的非相干光IL。另外,所谓非相干光,并非以单一或多个离散的模式(纵模)振荡的激光源,而是意味着具有连续的频谱的无相关的光子的集合所构成的光。多个非相干光源11包含SLD(Super Luminescent Diode:超辐射发光二极管)、SOA(Semiconductor Optical Amplifier:半导体光放大器)以及具备稀土类添加光纤(例如EDF)的ASE(Amplified Spontaneous Emission:放大自发辐射光源)光源的至少一个,在本实施方式1中,设全部为SLD。

[0072] 多个激励光源12分别输出波长相互不同并且具有对非相干光IL进行拉曼放大的波长的二阶激励光SPL。多个激励光源12包含波长相互不同的法布里-珀罗(FP)型、将FP型和光纤布拉格光栅(FBG)组合而成的FP-FBG型、DFB型、以及DBR型的半导体激光器的至少一个,在本实施方式1中,设全部为FP型半导体激光器。

[0073] WDM耦合器13将各非相干光IL和各二阶激励光SPL进行合波来输出。图2是表示WDM耦合器13的结构的一例的图。WDM耦合器13具有如下结构,即,由电介质多层膜滤波器构成的多个WDM耦合器13a和由电介质多层膜滤波器构成的多个WDM耦合器13b通过光纤而串联

连接。各WDM耦合器13a通过光纤与各非相干光源11连接,并具有对从所连接的非相干光源11输出的非相干光IL进行反射而使其他的波长的光透射的波长特性。同样地,各WDM耦合器13b通过光纤与各激励光源12连接,并具有对从所连接的激励光源12输出的二阶激励光SPL进行反射而使其他的波长的光透射的波长特性。由此,WDM耦合器13能够将各非相干光IL和各二阶激励光SPL进行合波并从输出端口13c输出。

[0074] 图3是表示作为WDM耦合器的结构的另一例的WDM耦合器13'的图。WDM耦合器13'具备使用了平面光波电路(PLC)的AWG(Arrayed Waveguide Gratings:阵列波导光栅)13'a。AWG13'a的多端口侧的多个端口13'aa的每一个与各非相干光源11连接,多个端口13'ab的每一个与各激励光源12连接。由此,WDM耦合器13'能够将各非相干光IL和各二阶激励光SPL进行合波并从输出端口13'ac输出。

[0075] 返回至图1。拉曼放大用光纤14经由WDM耦合器13与多个非相干光源11以及多个激励光源12连接,通过所输入的各二阶激励光SPL对所输入的各非相干光IL进行拉曼放大,并作为非相干放大光而输出。拉曼放大用光纤14是高非线性光纤等公知的光纤。在此,多个非相干光源11以及多个激励光源12经由WDM耦合器13与拉曼放大用光纤14连接,使得各二阶激励光SPL对各非相干光IL进行前向激励。即,在拉曼放大用光纤14中各二阶激励光SPL的传播方向和各非相干光IL的传播方向是同一方向。

[0076] 作为输出部的WDM耦合器15与光传输光纤1002连接,被输入非相干放大光,并将其设为具有对信号光S1进行拉曼放大的波长的一阶激励光FPL而输出到光传输光纤1002。WDM耦合器15是使用了电介质多层膜滤波器等的公知的WDM耦合器。在此,WDM耦合器15与光传输光纤1002连接以使得一阶激励光FPL对信号光S1进行前向激励。即,WDM耦合器15与光传输光纤1002连接,使得一阶激励光FPL的传播方向与信号光S1的传播方向成为同一方向。由此,在光传输光纤1002中传输的信号光S1通过光传输光纤1002中的受激拉曼散射现象,从而被一阶激励光FPL进行拉曼放大。

[0077] 已知若使用非相干光作为一阶激励光,则能够降低从一阶激励光向信号光的RIN转移,但是由于非相干光源的输出功率一般较小,所以难以直接作为拉曼放大用的一阶激励光源来使用。

[0078] 对此,本发明的发明者们发现,在将通过FP型半导体激光器等的相干的二阶激励光进行拉曼放大后的非相干光作为一阶激励光的情况下,也能够降低向信号光的RIN转移。于是,在拉曼放大系统100中,在拉曼放大用光源10中构成为,将由FP型半导体激光器构成的多个激励光源12作为二阶激励光SPL通过拉曼放大用光纤14进行拉曼放大而得到非相干光,将所得到的非相干光作为一阶激励光FPL通过光传输光纤1002对信号光S1进行拉曼放大。由此,能够实现低RIN转移。

[0079] 此外,非相干光IL与FP型半导体激光器等相干光源相比,发光的波段较宽,相对于发光的整体的强度而言峰值强度较低。因此,通过对其进行放大来用作一阶激励光FPL,从而能够实现低SBS。进而,根据非相干光IL的发光的波段的宽度,作为代表性的非线性效应的四波混频难以满足其相位匹配条件,四波混频的产生得到抑制。由此,能够实现低非线性效应。

[0080] 而且,由于具备分别输出具有彼此不同的波长的非相干光IL的多个非相干光源11、和分别输出具有彼此不同的波长的二阶激励光SPL的多个激励光源12,因此能够在宽频

带的波长区域控制信号光的放大增益来进行光放大。

[0081] 这样,通过拉曼放大用光源10,能够同时解决上述的4个课题。

[0082] 另外,激励光源12以及非相干光源11的波长、数量、频带、功率,能够根据要放大的信号光S1的放大频带、所希望的增益以及增益平坦性来适当进行调整。

[0083] 接下来,对非相干光和二阶激励光的波长的配置以及功率的例子进行说明。图4是表示非相干光以及二阶激励光的波长的配置的一例的图。在图4所示的例子中,设非相干光源11(SLD)的数量为2,激励光源12(激励FP-LD)的数量为4。如图4所示,将二阶激励光SPLA、SPLB、SPLC、SPLD的波长分别设为1350nm、1370nm、1380nm、1400nm,功率均设为250mW。此外,将非相干光ILA、ILB的波长分别设为1450nm、1480nm,将3dB带宽均设为30nm,并将功率均设为5mW。在从二阶激励光SPLA、SPLB、SPLC、SPLD分别拉曼位移了大约100nm的长波长侧的位置,形成以基于各二阶激励光的拉曼峰值RPA、RPB、RPC、RPD为峰值位置的拉曼增益频带。由此,非相干光ILA、ILB被拉曼放大,成为一阶激励光FPL。在此,在图4所示的例子中,因为设定了二阶激励光SPLA、SPLB、SPLC、SPLD的波长以使得拉曼峰值RPA、RPB、RPC、RPD位于相对于非相干光ILA、ILB的峰值波长而言长波长侧的光强度较低的波长和短波长侧的光强度较低的波长,所以能够对非相干光ILA、ILB的光强度较低的波长的光给予较高的拉曼增益。结果,一阶激励光FPL相对于波长成为更平坦的频谱形状。

[0084] 例如,在实施方式1中,在如上述那样设定了二阶激励光SPLA、SPLB、SPLC、SPLD、非相干光ILA、ILB的情况下,能够得到高功率、并且1430nm~1500nm程度的宽频带的非相干拉曼放大光(一阶激励光),能够对从1530nm到1625nm程度的在光通信中使用的C+L波段的信号光进行拉曼放大。

[0085] 另外,在多个非相干光源11中,只要通过将SLD和基于EDF的ASE光源、SOA和ASE光源、SOA和SLD等输出彼此不同的波段的非相干光的不同种类的非相干光源进行组合,从而使激励光波段宽带化,那么增益频带的宽带化变得容易。例如在使用在以1480nm波段为中心的数十nm的波段进行动作的SOA作为非相干光源的情况下,难以使该SOA在除此以外的波长下进行动作。因此,若将该SOA和SLD、ASE光源同时使用,则不光是1480nm波段还能够使激励光波段扩大至1300nm波段或1550nm波段。此外,通过利用使用了如下光纤的ASE光源作为ASE光源,从而能够使激励光波段宽带化,所述光纤是对添加有不同的稀土类元素(Er或Er与Al₂O₃、Yb的共掺、PbS的半导体量子点)的光纤进行了连接的光纤、共同添加有不同的稀土元素的光纤。

[0086] (实施方式2)

[0087] 图5是使用了实施方式2所涉及的拉曼放大用光源的拉曼放大系统的示意性结构图。拉曼放大系统100A由拉曼放大用光源10A和光传输光纤1002构成。

[0088] 拉曼放大用光源10A具备:多个非相干光源11、多个激励光源12、WDM耦合器13Aa、13Ab、拉曼放大用光纤14和WDM耦合器15。

[0089] WDM耦合器13Aa将各非相干光IL进行合波并输出。WDM耦合器13Ab将各二阶激励光SPL进行合波并输出。WDM耦合器13Aa、13Ab能够使用图2、3所例示的电介质多层膜滤波器、AWG来构成。

[0090] 拉曼放大用光纤14经由WDM耦合器13Aa与多个非相干光源11连接,并经由WDM耦合器13Ab与多个激励光源12连接。拉曼放大用光纤14通过所输入的各二阶激励光SPL来对所

输入的各非相干光IL进行拉曼放大,并作为非相干放大光而输出。在此,多个非相干光源11以及多个激励光源12分别经由WDM耦合器13Aa、13Ab与拉曼放大用光纤14连接,使得各二阶激励光SPL对各非相干光IL进行后向激励。即,在拉曼放大用光纤14中,各二阶激励光SPL的传播方向和各非相干光IL的传播方向为相反方向。

[0091] WDM耦合器15与光传输光纤1002连接,被输入非相干放大光,并将其设为具有对信号光S1进行拉曼放大的波长的一阶激励光FPL而输出到光传输光纤1002。在此,WDM耦合器15与光传输光纤1002连接,使得一阶激励光FPL对信号光S1进行前向激励。由此,信号光S1在光传输光纤1002中通过一阶激励光FPL而被拉曼放大。

[0092] 根据该拉曼放大用光源10A,也与拉曼放大用光源10同样地,能够同时解决上述的4个课题。进而,在该拉曼放大用光源10A中,在拉曼放大用光纤14中,各二阶激励光SPL通过后向激励对各非相干光IL进行拉曼放大。由此,各二阶激励光SPL向各非相干光IL的RIN转移进一步得到降低,所以向信号光S1的RIN转移也进一步得到降低。

[0093] (实施方式3)

[0094] 图6是使用了实施方式3所涉及的拉曼放大用光源的拉曼放大系统的示意性结构图。拉曼放大系统100B由拉曼放大用光源10B和光传输光纤1002构成。

[0095] 拉曼放大用光源10B具有将拉曼放大用光源10的WDM耦合器15置换为WDM耦合器15B的结构。WDM耦合器15B与光传输光纤1002连接,被输入非相干放大光,并将其设为具有对信号光S1进行拉曼放大的波长的一阶激励光FPL而输出到光传输光纤1002。在此,WDM耦合器15B与光传输光纤1002连接,使得一阶激励光FPL对信号光S1进行后向激励。即,WDM耦合器15B与光传输光纤1002连接,使得一阶激励光FPL的传播方向和信号光S1的传播方向成为相反方向。由此,信号光S1在光传输光纤1002中通过一阶激励光FPL而被拉曼放大。

[0096] 根据该拉曼放大用光源10B,也与拉曼放大用光源10同样地,能够同时解决上述的4个课题。此外,在拉曼放大用光源10B的情况下,与拉曼放大用光源10那样的前向激励型的情况相比,能够进一步抑制低非线性效应。这是取决于,由于是后向激励型,所以信号光S1开始受到光传输光纤1002的传输损耗从而功率开始变小之后通过基于一阶激励光FPL的拉曼放大而被放大,因此信号光S1的功率在光传输光纤1002内保持得比前向激励型小,并且,因为一阶激励光FPL和信号光S1反向传播,所以与前向激励相比难以满足引起非线性效应的相位匹配条件。

[0097] (实施方式4)

[0098] 图7是使用了实施方式4所涉及的拉曼放大用光源的拉曼放大系统的示意性结构图。拉曼放大系统100C由拉曼放大用光源10C和光传输光纤1002构成。

[0099] 拉曼放大用光源10C具有将拉曼放大用光源10A的WDM耦合器15置换为WDM耦合器15C的结构。WDM耦合器15C与光传输光纤1002连接,被输入非相干放大光,并将其设为具有对信号光S1进行拉曼放大的波长的一阶激励光FPL而输出到光传输光纤1002。在此,WDM耦合器15C与光传输光纤1002连接,使得一阶激励光FPL对信号光S1进行后向激励。即,WDM耦合器15C与光传输光纤1002连接,使得一阶激励光FPL的传播方向和信号光S1的传播方向成为相反方向。由此,信号光S1在光传输光纤1002中通过一阶激励光FPL而被拉曼放大。

[0100] 根据该拉曼放大用光源10C,也与拉曼放大用光源10同样地,能够同时解决上述的4个课题。进而,在该拉曼放大用光源10C中,与拉曼放大用光源10A同样地,在拉曼放大用光

纤14中,各二阶激励光SPL通过后向激励对各非相干光IL进行拉曼放大。由此,各二阶激励光SPL向各非相干光IL的RIN转移进一步得到降低,所以向信号光S1的RIN转移也进一步得到降低。

[0101] (实施方式5)

[0102] 图8是使用了实施方式5所涉及的拉曼放大用光源的拉曼放大系统的示意性结构图。拉曼放大系统100D由拉曼放大用光源系统10D和光传输光纤1002构成。

[0103] 拉曼放大用光源系统10D具备拉曼放大用光源10和拉曼放大用光源10B,拉曼放大用光源10、10B的WDM耦合器15、15B与光传输光纤1002连接以使得分别从WDM耦合器15、15B输出的一阶激励光FPL对信号光S1进行双向激励。即,拉曼放大系统100D是使用了拉曼放大用光源系统10D的双向激励系统。

[0104] 根据该拉曼放大用光源系统10D,也能够同时解决上述的4个课题。进而,根据拉曼放大用光源系统10D,由于是双向激励型的,所以还容易达成拉曼增益的波长平坦化、宽带化、NF的波长平坦化。

[0105] 另外,也可以由拉曼放大用光源10A和拉曼放大用光源10C来构成拉曼放大用光源系统,将拉曼放大用光源10A、10C的WDM耦合器15、15C连接于光传输光纤1002以使得从各自输出的一阶激励光FPL对信号光S1进行双向激励,构成与拉曼放大系统100D同样的双向激励拉曼放大系统。

[0106] (实施方式6)

[0107] 图9是使用了实施方式6所涉及的拉曼放大用光源的拉曼放大系统的示意性结构图。拉曼放大系统100E由拉曼放大用光源10E和光传输光纤1002构成。

[0108] 拉曼放大用光源10E具备:多个非相干光源11、多个激励光源12、和作为输出部的WDM耦合器13。

[0109] WDM耦合器13与多个非相干光源11、多个激励光源12以及光传输光纤1002连接,将从各非相干光源11输入的各非相干光IL以及从各激励光源12输入的各二阶激励光SPL输出为在光传输光纤1002中沿同一方向传播。进而,WDM耦合器13与光传输光纤1002连接以使得各非相干光IL以及各二阶激励光SPL在光传输光纤1002中沿与信号光S1相同的方向传播。这样的结构能够通过将图2所示的WDM耦合器13连接于光传输光纤1002以使得从输入端口13d输入信号光S1并从输出端口13c输出来实现。此外,在使用图3所示的WDM耦合器13'的情况下,设置信号光合波用的端口13'ad,并连接于光传输光纤1002以使得从端口13'ad输入信号光S1并从输出端口13'ac将信号光S1和各非相干光IL和各二阶激励光SPL进行合波来输出即可。

[0110] 在该拉曼放大系统100E中,在光传输光纤1002中,各非相干光IL由各二阶激励光SPL慢慢进行拉曼放大,生成具有对信号光S1进行拉曼放大的波长的一阶激励光FPL。一阶激励光FPL沿与信号光S1相同的方向传播,对信号光S1进行拉曼放大。即,拉曼放大系统100E是前向激励型并且二阶激励型的拉曼放大系统。

[0111] 根据该拉曼放大用光源10E,也能够同时解决上述的4个课题。进而,根据该拉曼放大用光源10E,虽然由于在WDM耦合器13的附近的光传输光纤1002中对信号光S1进行拉曼放大的一阶激励光FPL的功率较小,因而信号光S1的拉曼增益较小,但是随着信号光S1在光传输光纤1002中进行传输,非相干光IL通过二阶激励光SPL而被放大,从而一阶激励光FPL的

功率变大,针对信号光S1的拉曼增益变大。由此,若作为光传输光纤1002整体来看,则传输损耗和拉曼增益良好地消除,从而能够看作犹如光纤的传输损耗为0或光传输光纤1002的长度方向上的信号光S1的功率的变动小的传输路径,能够进一步降低非线性效应。

[0112] 另外,以拉曼放大系统100E的结构,如图4所例示的那样,将二阶激励光SPLA、SPLB、SPLC、SPLD的波长分别设为1350nm、1370nm、1380nm、1400nm,功率均设为250mW,将非相干光ILA、ILB的波长分别设为1450nm、1480nm,将3dB带宽均设为30nm,将功率均设为5mW,来进行了拉曼放大的实验。信号光S1设为由4个信号光构成的WDM信号光,其波长设为1530nm、1560nm、1590nm、1620nm。此外,将光传输光纤1002的长度设为50km。结果,在各信号光的波长得到了大约10dB的拉曼增益。此外,4个信号光的波长中的最大的拉曼增益与最小的拉曼增益之差为1dB以下。

[0113] 此外,根据拉曼放大用光源10E,拉曼放大系统100E通过二阶激励光SPL的波长的设定,不仅能够作为二阶激励系统进行动作,还能够作为三阶激励系统或更高阶的激励系统进行动作。例如,若作为二阶激励光SPL的波长而使用(a) 1380nm \pm 20nm,并且作为非相干光源11而使用(b) 1480nm \pm 20nm的SLD,则作为如下的二阶激励拉曼放大系统而进行动作,即,通过(a)对(b)进行拉曼放大,该放大后的(b)对1590nm \pm 20nm前后的波长区域的信号光S1进行拉曼放大。

[0114] 此外,例如若作为二阶激励光SPL的波长而使用(a) 1290nm \pm 20nm以及(a') 1380nm \pm 20nm,并且作为非相干光源11而使用(b) 1480nm \pm 20nm的SLD,则作为如下的三阶激励拉曼放大系统而进行动作,即,通过(a)对(a')进行拉曼放大,该放大后的(a')、以及由(a')对(b)进行拉曼放大,该拉曼放大后的(b)对1590nm \pm 20nm前后的波长区域的信号光S1进行拉曼放大。在该情况下,拉曼放大用光源10E具备输出如下激励光的激励光源,所述激励光具有对多个激励光源12中的至少1个所输出的二阶激励光SPL进行拉曼放大的波长。此时,若调整(a)、(a')、(b)的功率,则能够同时达成上述4个课题,并且还容易达成拉曼增益的平坦化、宽带化、NF的平坦化。

[0115] (实施方式7)

[0116] 图10是使用了实施方式7所涉及的拉曼放大用光源系统的拉曼放大系统的示意性结构图。拉曼放大系统100F由拉曼放大用光源系统10F和光传输光纤1002构成。

[0117] 拉曼放大用光源系统10F具备拉曼放大用光源10E和拉曼放大用光源10EA。拉曼放大用光源10EA具有如下结构,即,在拉曼放大用光源10E中,将WDM耦合器13连接于光传输光纤1002,使得从输出端口13c输入信号光S1,并从输入端口13d进行输出。在光传输光纤1002中,从拉曼放大用光源10EA输入的各非相干光IL由各二阶激励光SPL慢慢进行拉曼放大,生成具有对信号光S1进行拉曼放大的波长的一阶激励光FPL。一阶激励光FPL沿与信号光S1相反的方向传播,对信号光S1进行拉曼放大。另一方面,由拉曼放大用光源10E生成的一阶激励光FPL沿与信号光S1相同的方向传播,对信号光S1进行拉曼放大。

[0118] 这样,各拉曼放大用光源10E、10EA的WDM耦合器13连接于光传输光纤1002使得一阶激励光FPL对信号光S1进行双向激励,从而拉曼放大系统100F成为使用了拉曼放大用光源系统10F的双向激励型并且二阶激励型的拉曼放大系统。

[0119] 根据该拉曼放大用光源系统10F,也能够同时解决上述的4个课题,并且与拉曼放大用光源10E的情况同样地,能够进一步降低非线性效应,而且,由于是双向激励型,因此能

够提高光传输光纤1002的长度方向上的信号光S1的功率的分布的设计的自由度。例如,通过拉曼放大用光源10E、10EA各自中的各激励光源12以及非相干光源11的波长、数量、频带、功率,除了能够调整要放大的信号光S1的放大频带、所希望的增益以及增益平坦性之外,还能够调整长度方向上的信号光S1的功率的分布。进而,根据拉曼放大用光源系统10F,拉曼放大系统100F与拉曼放大系统100E同样地,不仅能够作为二阶激励系统进行动作,还能够作为三阶激励系统或更高阶的激励系统进行动作。

[0120] (实施方式8)

[0121] 图11是使用了实施方式8所涉及的拉曼放大用光源系统的拉曼放大系统的示意性结构图。拉曼放大系统100H由拉曼放大用光源系统10H和光传输光纤1002构成。

[0122] 拉曼放大用光源系统10H具备第1光源部10HA和第2光源部10HB。第1光源部10HA具备:输出非相干光IL的第1多个非相干光源11A;和与第1多个非相干光源11A以及光传输光纤1002连接,将非相干光IL输出到光传输光纤1002的第1输出部即WDM耦合器16。第2光源部10HB具备:输出具有对非相干光IL进行拉曼放大的波长的二阶激励光SPL的第1多个激励光源12A;和与第1多个激励光源12A以及光传输光纤1002连接,将二阶激励光SPL输出到光传输光纤1002的第2输出部即WDM耦合器17。

[0123] 第1多个非相干光源11A与多个非相干光源11同样地,分别输出具有彼此不同的波长的非相干光IL。第1多个非相干光源11A包含SLD、SOA以及具备稀土类添加光纤的ASE光源的至少一个,在本实施方式8中,设全部为SLD。从各非相干光源11A输出的非相干光IL的功率例如是40mW。

[0124] 第1多个激励光源12A与多个激励光源12同样地,分别输出波长相互不同并且具有对非相干光IL进行拉曼放大的波长的二阶激励光SPL。第1多个激励光源12A包含波长相互不同的FP型、将FP型和FBG组合而成的FP-FBG型、DFB型、以及DBR型的半导体激光器的至少一个,在本实施方式8中,设全部为FP型半导体激光器。从各激励光源12A输出的二阶激励光SPL的功率例如是500mW。

[0125] WDM耦合器16和WDM耦合器17与光传输光纤1002连接,使得非相干光IL和二阶激励光SPL在WDM耦合器16与WDM耦合器17之间在光传输光纤1002中沿相反方向进行传播。由此,具体而言,非相干光IL沿与信号光S1相同的方向传播,二阶激励光SPL沿与信号光S1相反的方向传播。

[0126] 在该拉曼放大用光源系统10H中,在WDM耦合器16与WDM耦合器17之间的光传输光纤1002中,所输入的非相干光IL由二阶激励光SPL慢慢进行拉曼放大,生成具有对信号光S1进行拉曼放大的波长的一阶激励光FPL。一阶激励光FPL沿与信号光S1相同的方向传播,对信号光S1进行拉曼放大。即,拉曼放大系统100H是前向激励型并且二阶激励型的拉曼放大系统。

[0127] 根据该拉曼放大用光源系统10H,也能够同时解决上述的4个课题。进而,根据该拉曼放大用光源系统10H,通过与拉曼放大用光源10E同样的作用,若作为光传输光纤1002整体来看,则传输损耗和拉曼增益良好地消除,从而能够看作犹如光纤的传输损耗为0或光传输光纤1002的长度方向上的信号光S1的功率的变动小的传输路径,能够进一步降低非线性效应。进而,根据拉曼放大用光源系统10H,拉曼放大系统100H与拉曼放大系统100E同样地,不仅能够作为二阶激励系统进行动作,还能够作为三阶激励系统或更高阶的激励系统进行

动作。

[0128] (实施方式9)

[0129] 图12是使用了实施方式9所涉及的拉曼放大用光源系统的拉曼放大系统的示意性结构图。拉曼放大系统100I由拉曼放大用光源系统10I和光传输光纤1002构成。

[0130] 与拉曼放大用光源系统10H同样地,该拉曼放大用光源系统10I也具备第1光源部10HA和第2光源部10HB。此外,在如下这一点上也与拉曼放大用光源系统10H相同,即,WDM耦合器16和WDM耦合器17与光传输光纤1002连接,使得非相干光IL和二阶激励光SPL在WDM耦合器16与WDM耦合器17之间在光传输光纤1002中沿相反方向传播。但是,与拉曼放大用光源系统10H不同,WDM耦合器16和WDM耦合器17与光传输光纤1002连接,使得非相干光IL沿与信号光S1相反的方向传播,二阶激励光SPL沿与信号光S1相同的方向传播。

[0131] 在该拉曼放大用光源系统10I中,与拉曼放大用光源系统10H的情况同样地,在WDM耦合器16与WDM耦合器17之间的光传输光纤1002中,所输入的非相干光IL由二阶激励光SPL慢慢进行拉曼放大,生成具有对信号光S1进行拉曼放大的波长的一阶激励光FPL。但是,与拉曼放大用光源系统10H的情况不同,一阶激励光FPL沿与信号光S1相反的方向传播,对信号光S1进行拉曼放大。即,拉曼放大系统100I是后向激励型并且二阶激励型的拉曼放大系统。

[0132] 根据该拉曼放大用光源系统10I,也能够同时解决上述的4个课题。进而,根据拉曼放大用光源系统10I,拉曼放大系统100I与拉曼放大系统100E同样地,不仅能够作为二阶激励系统进行动作,还能够作为三阶激励系统或更高阶的激励系统进行动作。

[0133] (实施方式10)

[0134] 图13是使用了实施方式10所涉及的拉曼放大用光源系统的拉曼放大系统的示意性结构图。拉曼放大系统100J由拉曼放大用光源系统10J和光传输光纤1002构成。

[0135] 拉曼放大用光源系统10J具备第1光源部10HAA和第2光源部10HBA。第1光源部10HAA具备:输出非相干光IL的第1多个非相干光源11A;输出第2二阶激励光SPL2的第2多个激励光源12B;与第1多个非相干光源11A、第2多个激励光源12B以及光传输光纤1002连接,将非相干光IL以及第2二阶激励光SPL2输出到光传输光纤1002的第1输出部即WDM耦合器16A。第2光源部10HBA具备:输出二阶激励光SPL的第1多个激励光源12A;输出第2非相干光IL2的第2多个非相干光源11B;和与第1多个激励光源12A、第2多个非相干光源11B以及光传输光纤1002连接,将第2非相干光IL2以及二阶激励光SPL输出到光传输光纤1002的第2输出部即WDM耦合器17A。

[0136] 第2多个非相干光源11B输出具有通过第2多个激励光源12B所输出的第2二阶激励光SPL2来进行拉曼放大的波长的第2非相干光IL2。第1多个激励光源12A输出具有对第1多个非相干光源11A所输出的非相干光IL进行拉曼放大的波长的二阶激励光SPL。

[0137] WDM耦合器16A和WDM耦合器17A与光传输光纤1002连接,使得非相干光IL和二阶激励光SPL在WDM耦合器16A与WDM耦合器17A之间在光传输光纤1002中沿相反方向传播,并且,第2非相干光IL2和第2二阶激励光SPL2在WDM耦合器16A与WDM耦合器17A之间在光传输光纤1002中沿相反方向传播。由此,具体而言,非相干光IL以及第2二阶激励光SPL2沿与信号光S1相同的方向传播,二阶激励光SPL以及第2非相干光IL2沿与信号光S1相反的方向传播。

[0138] 在该拉曼放大用光源系统10J中,在WDM耦合器16A与WDM耦合器17A之间的光传输

光纤1002中,所输入的非相干光IL由二阶激励光SPL慢慢进行拉曼放大,生成具有对信号光S1进行拉曼放大的波长的一阶激励光FPL。进而,在该拉曼放大用光源系统10J中,在WDM耦合器16A与WDM耦合器17A之间的光传输光纤1002中,所输入的第2非相干光IL2由第2二阶激励光SPL2慢慢进行拉曼放大,生成具有对信号光S1进行拉曼放大的波长的第2一阶激励光FPL2。一阶激励光FPL沿与信号光S1相同的方向传播,第2一阶激励光FPL2沿与信号光S1相反的方向传播,分别对信号光S1进行拉曼放大。即,拉曼放大系统100J是双向激励型并且二阶激励型的拉曼放大系统。

[0139] 根据该拉曼放大用光源系统10J,也能够同时解决上述的4个课题。进而,根据该拉曼放大用光源系统10J,由于是双向激励型,因此能够提高光传输光纤1002的长度方向上的信号光S1的功率的分布的设计的自由度。例如,通过光源部10HAA、10HBA各自中的各激励光源12A、12B以及非相干光源11A、11B的波长、数量、频带、功率,除了能够调整要放大的信号光S1的放大频带、所希望的增益以及增益平坦性之外,还能够调整长度方向上的信号光S1的功率的分布。进而,在拉曼放大系统100J中,对从前方输入的非相干光IL进行拉曼放大的二阶激励光并不限定于从后方导入的二阶激励光SPL,也可以由从前方输入的第2二阶激励光SPL2对从前方输入的非相干光IL进行拉曼放大。至于哪个二阶激励光对哪个非相干光进行拉曼放大,依赖于系统的设计。进而,根据拉曼放大用光源系统10J,拉曼放大系统100J与拉曼放大系统100E同样地,不仅能够作为二阶激励系统进行动作,还能够作为三阶激励系统或更高阶的激励系统进行动作。

[0140] 另外,在上述实施方式中,多个非相干光源11、11A或11B也可以包含如图14中的(a)所示,将SOA11a多级连接而构成并且输出非相干光IL或IL2的非相干光源11C,还可以包含如图14中的(b)所示,包括SLD11b以及SOA11a并且构成为由SOA11a对从SLD11b输出的非相干光进行光放大并输出为非相干光IL或IL2的非相干光源11D。由此,能够增大非相干光IL或IL2的功率。

[0141] 此外,本发明并不限定于上述实施方式。将上述的各构成要素适当组合而构成的结构也包含在本发明中。此外,进一步的效果、变形例能够由本领域技术人员容易地推导出。因此,本发明的更广泛的方式并不限定于上述的实施方式,能够进行各种变更。

[0142] 工业实用性

[0143] 如上所述,本发明所涉及的拉曼放大用光源、拉曼放大用光源系统、拉曼放大器以及拉曼放大系统在光纤通信中是有用的。

[0144] 符号说明

[0145] 10、10A、10B、10C、10E、10EA 拉曼放大用光源

[0146] 10D、10F、10H、10I、10J 拉曼放大用光源系统

[0147] 10HA、10HAA 第1光源部

[0148] 10HB、10HBA 第2光源部

[0149] 11、11A、11B、11C、11D 非相干光源

[0150] 12、12A、12B 激励光源

[0151] 13、13'、13a、13b、13Aa、13Ab、15、15B、15C、16、16A、17、17A WDM耦合器

[0152] 13'a AWG

[0153] 13c、13'ac 输出端口

- [0154] 13d 输入端口
- [0155] 13'aa、13'ab、13'ad 端口
- [0156] 14 拉曼放大用光纤
- [0157] 100、100A、100B、100C、100D、100E、100F、100H、100I、100J拉曼放大系统
- [0158] 1000 光传输系统
- [0159] 1001 发送器
- [0160] 1002 光传输光纤
- [0161] 1003 接收器
- [0162] FPL 一阶激励光
- [0163] FPL2 第2一阶激励光
- [0164] IL、ILA、ILB 非相干光
- [0165] IL2 第2非相干光
- [0166] RPA、RPB、RPC、RPD 拉曼峰值
- [0167] S1 信号光
- [0168] SPL、SPLA 二阶激励光
- [0169] SPL2 第2二阶激励光。

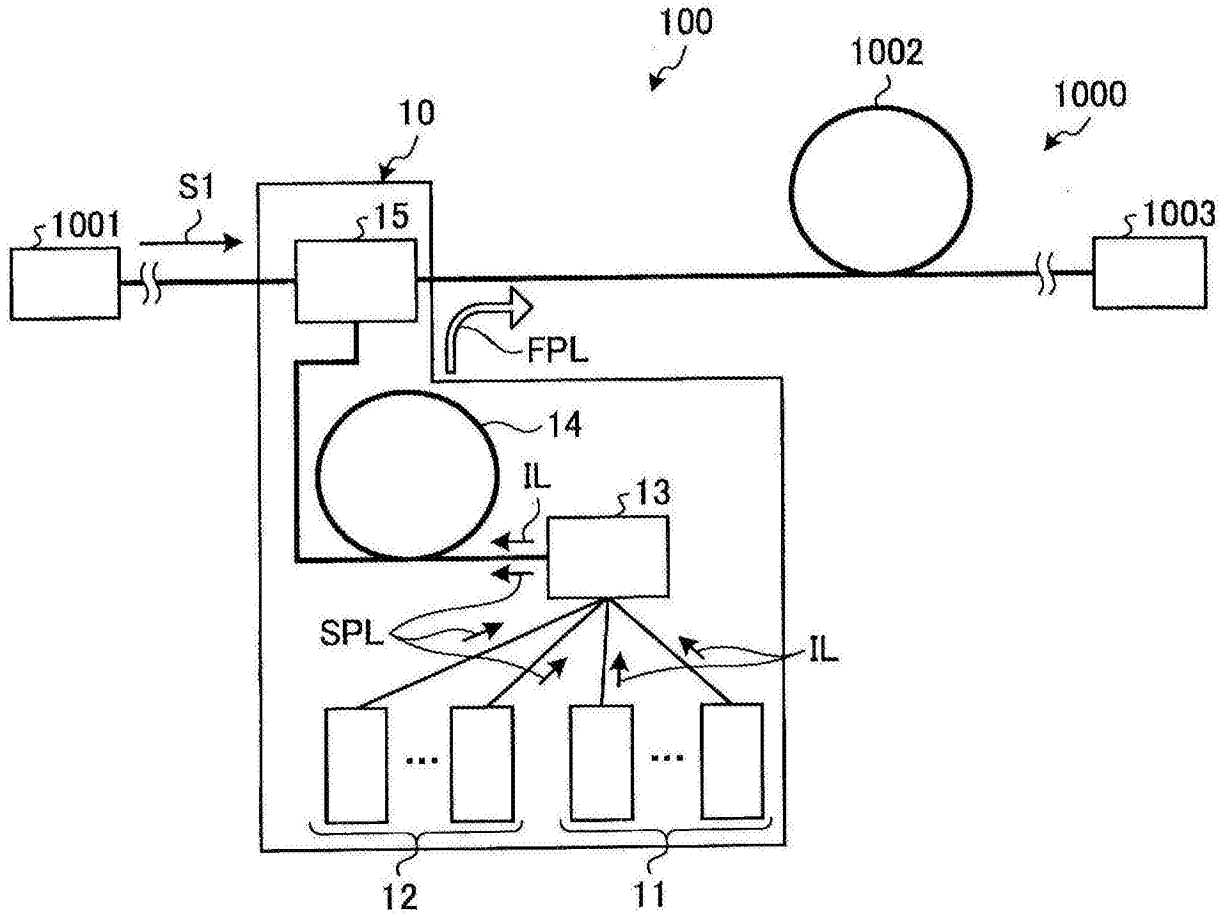


图1

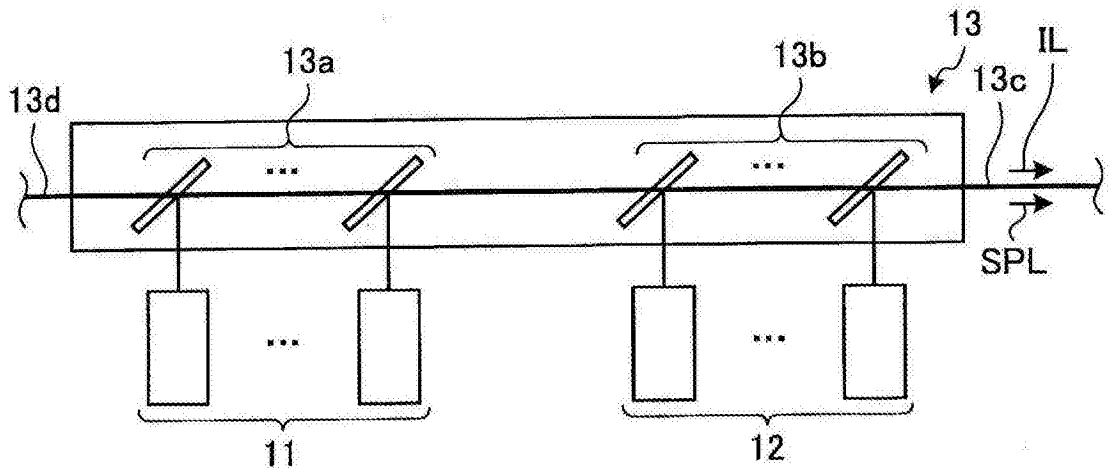


图2

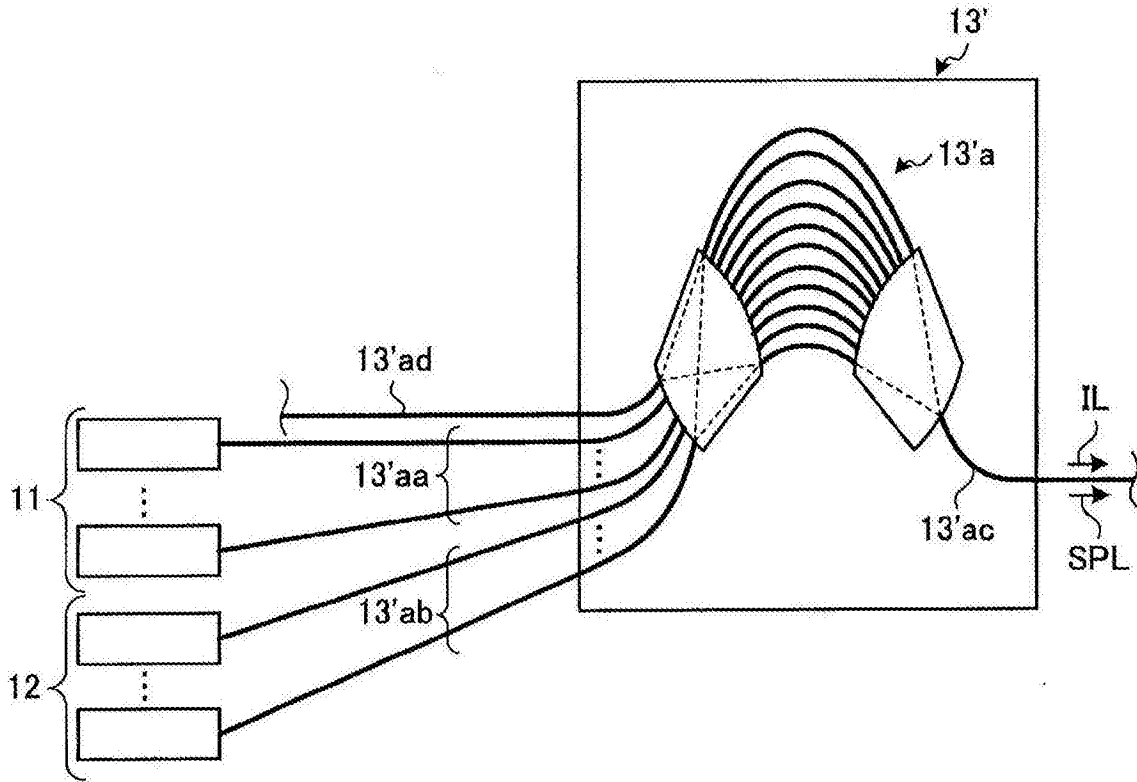


图3

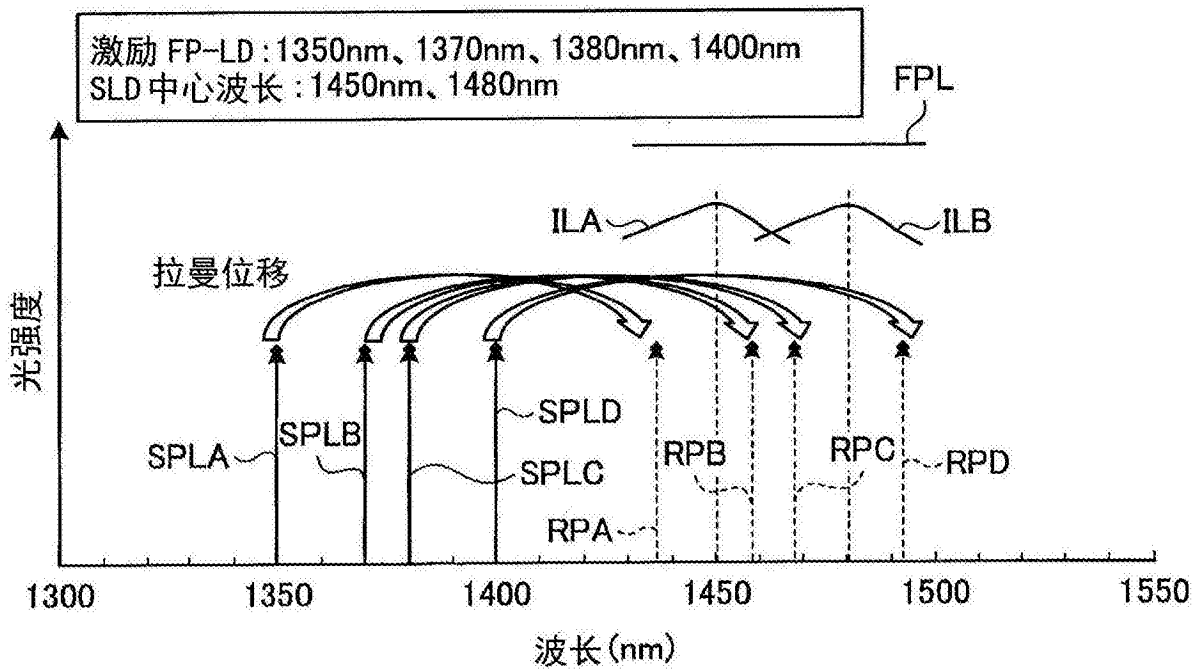


图4

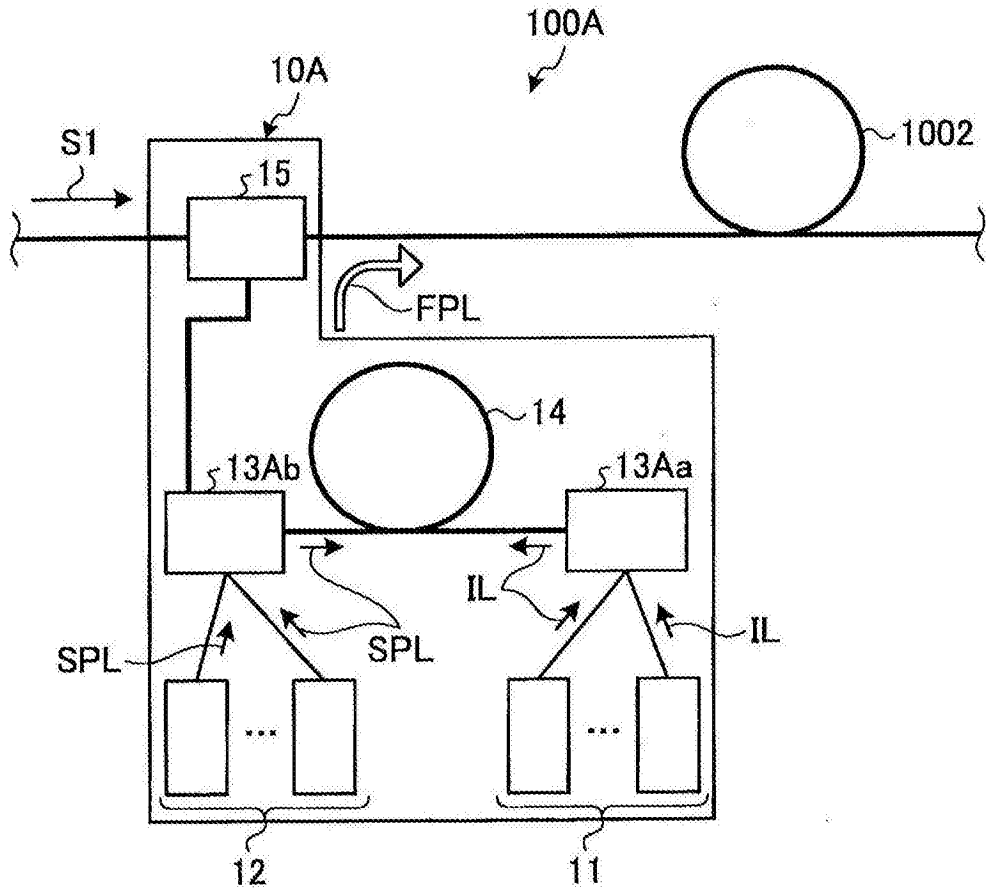


图5

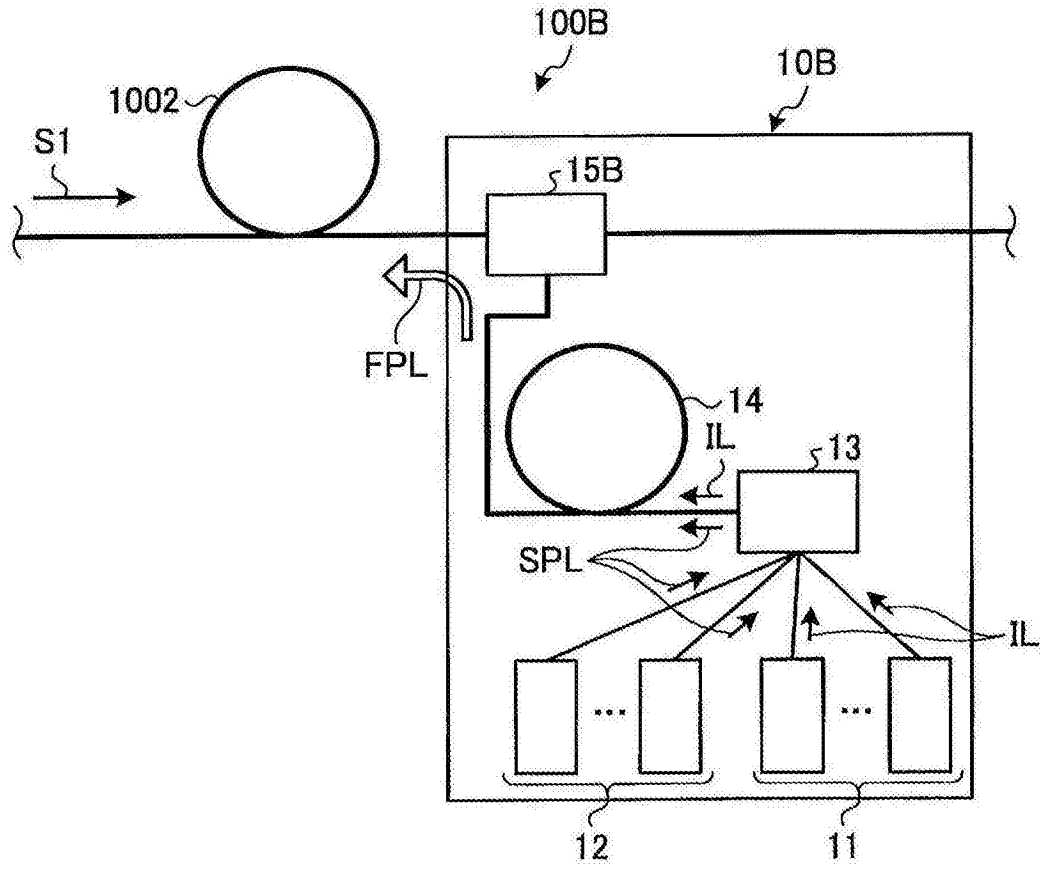


图6

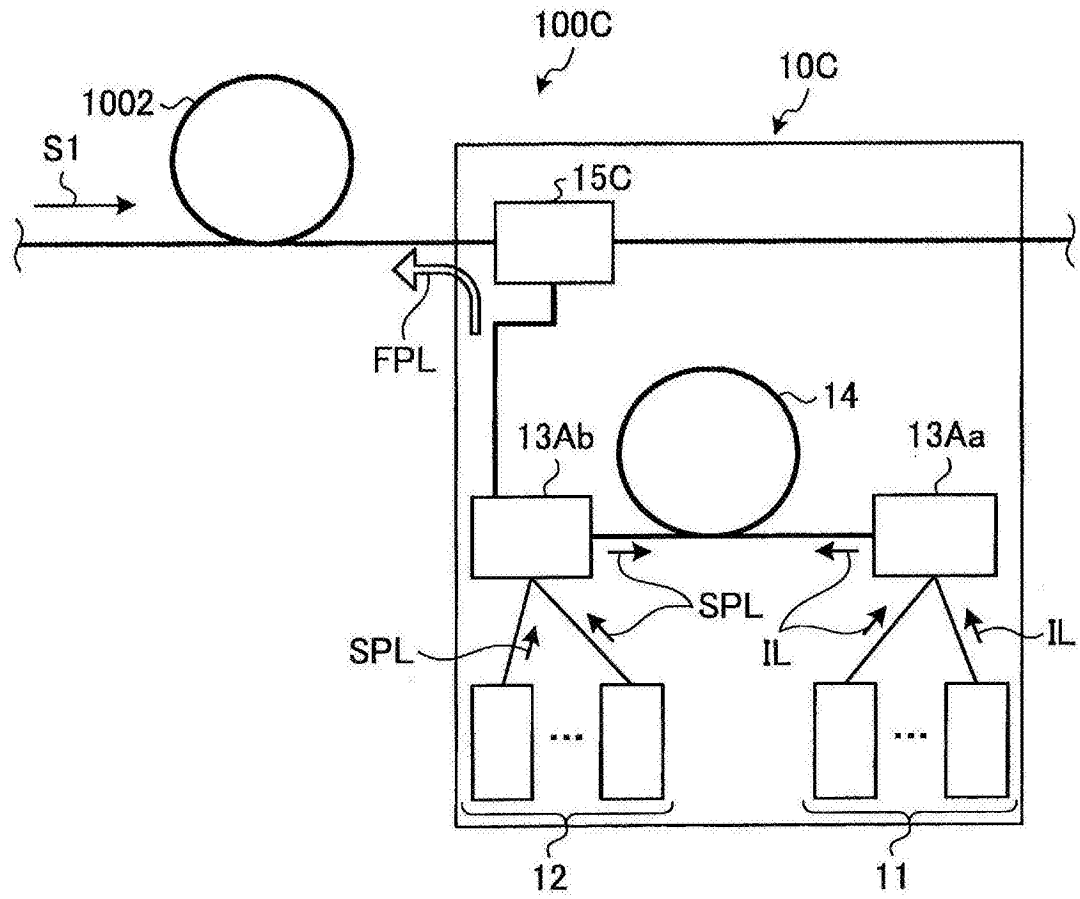


图7

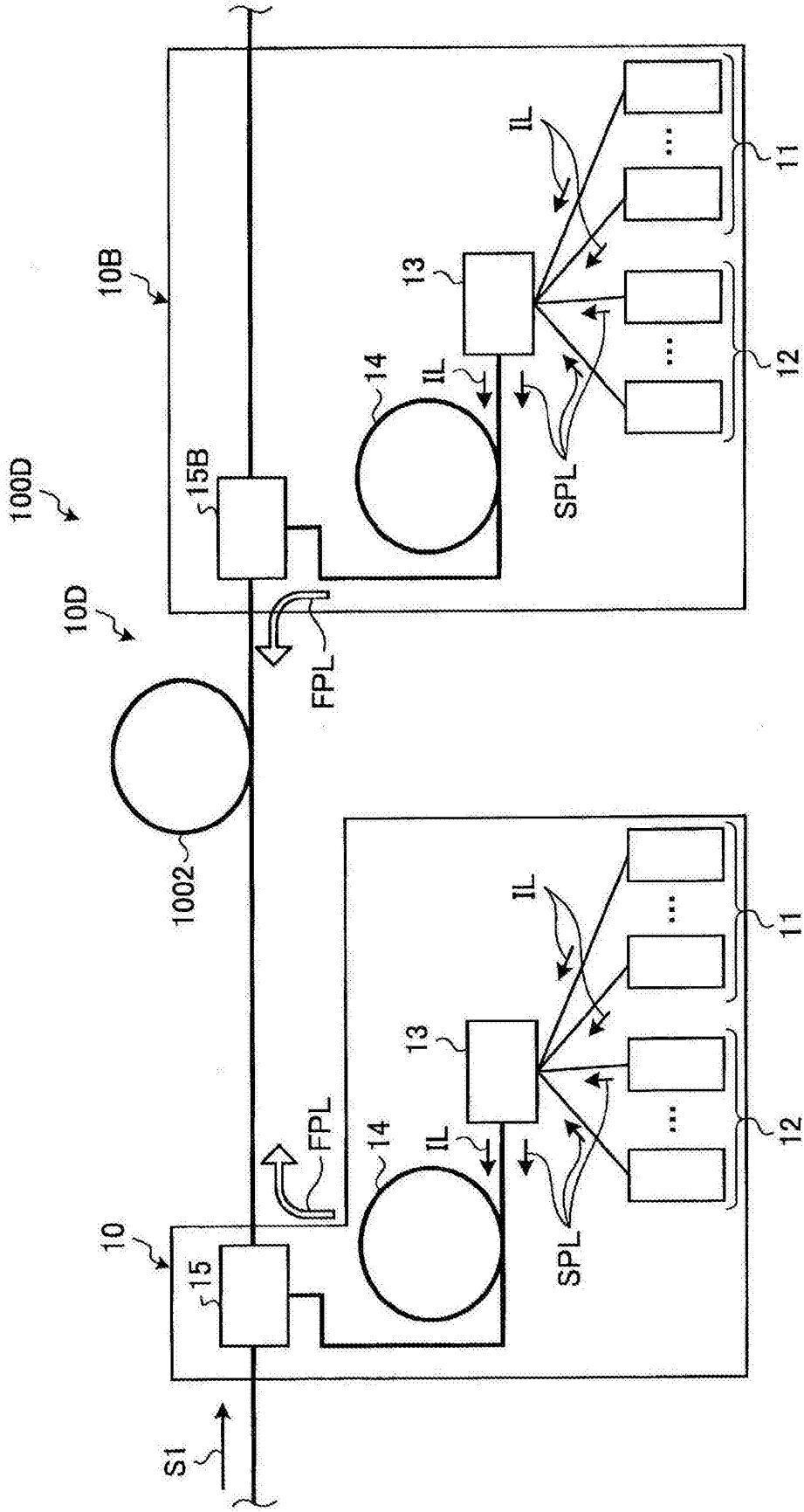


图8

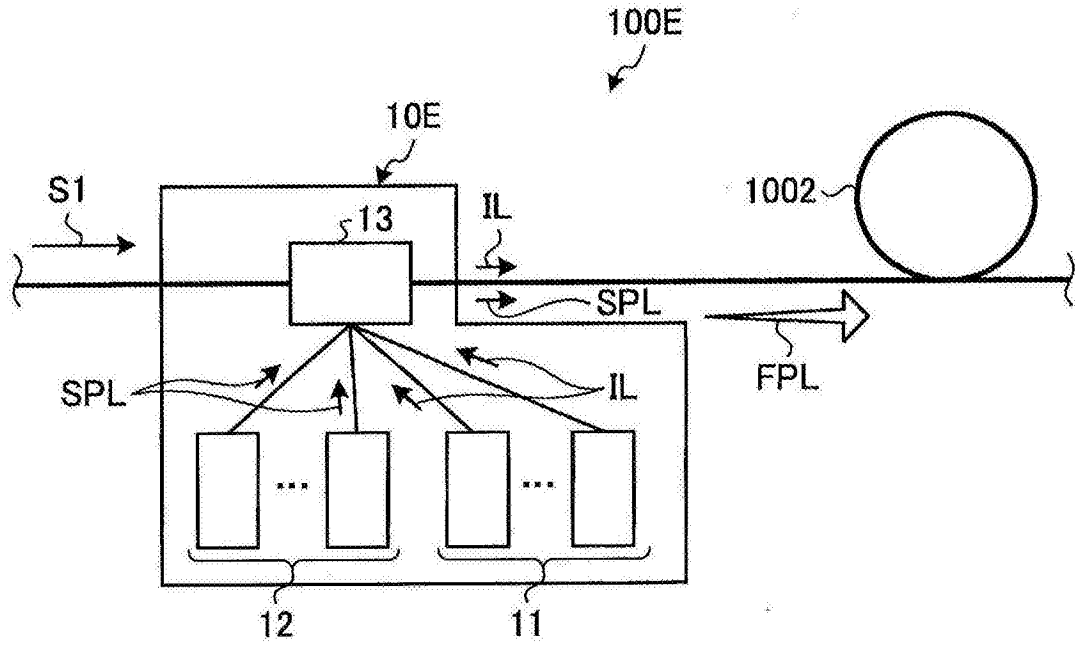


图9

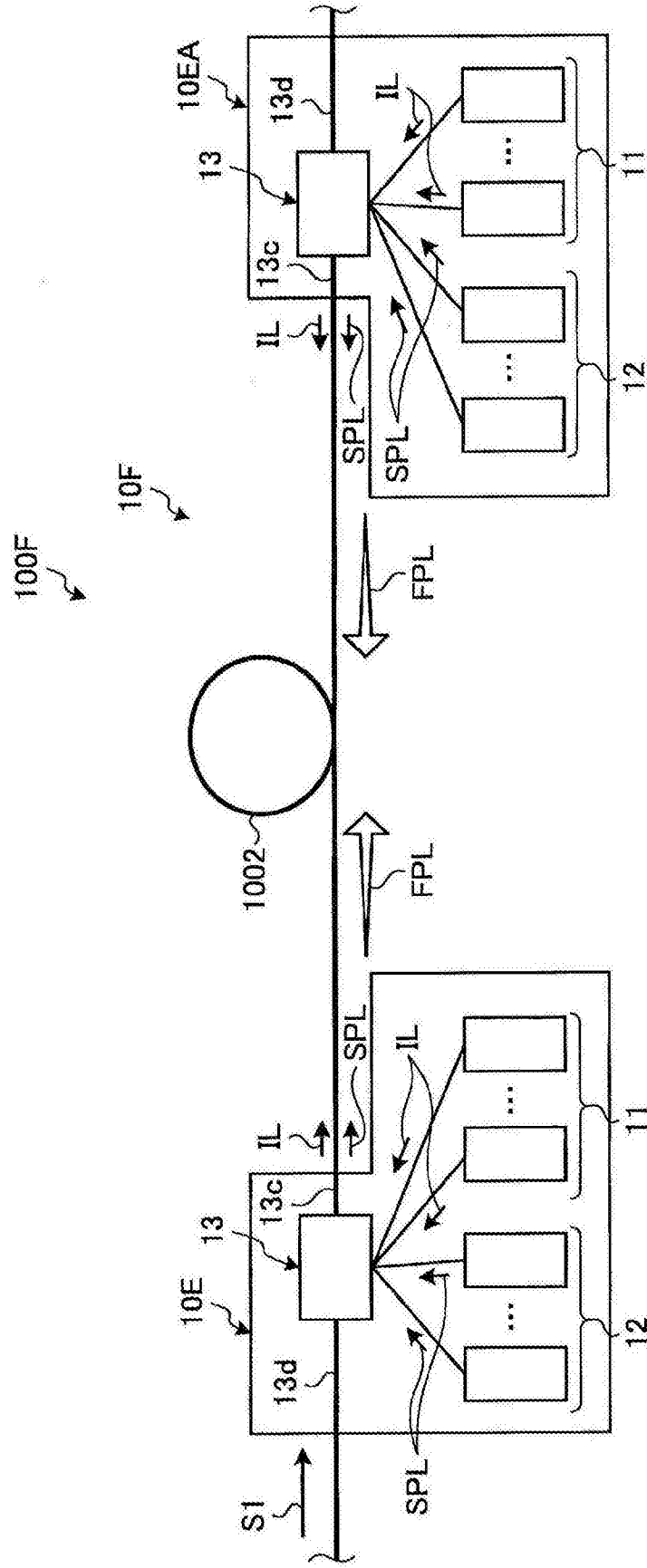


图10

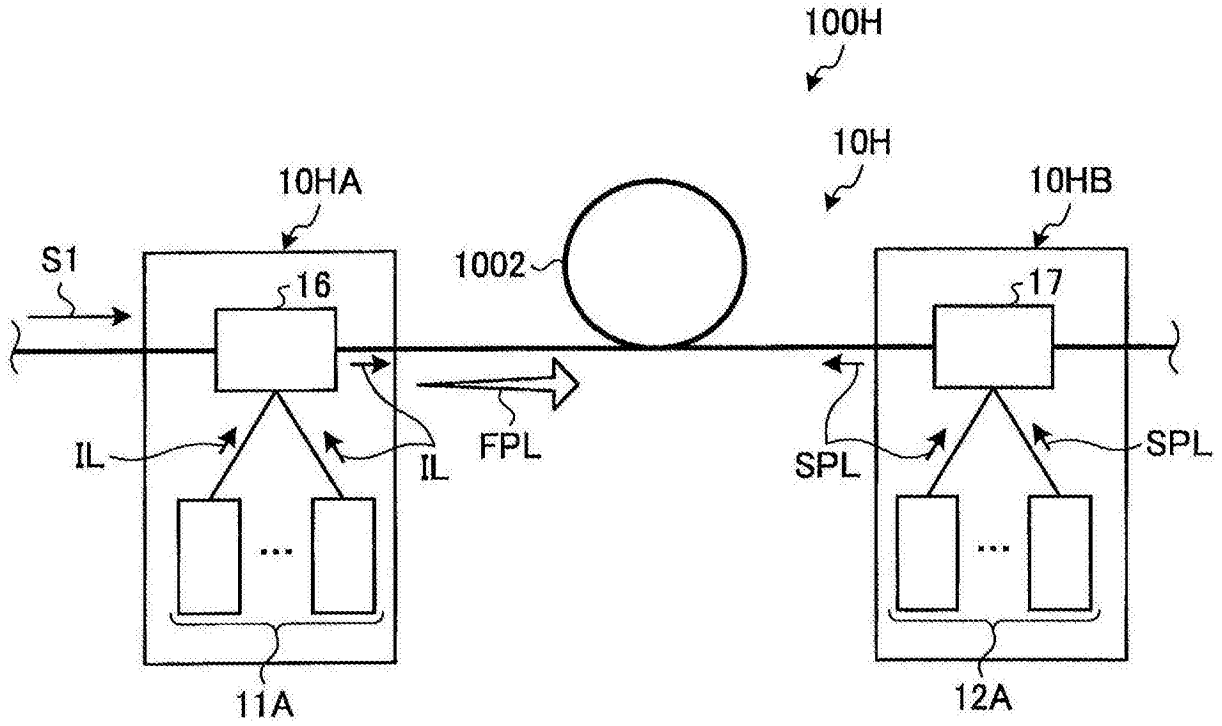


图11

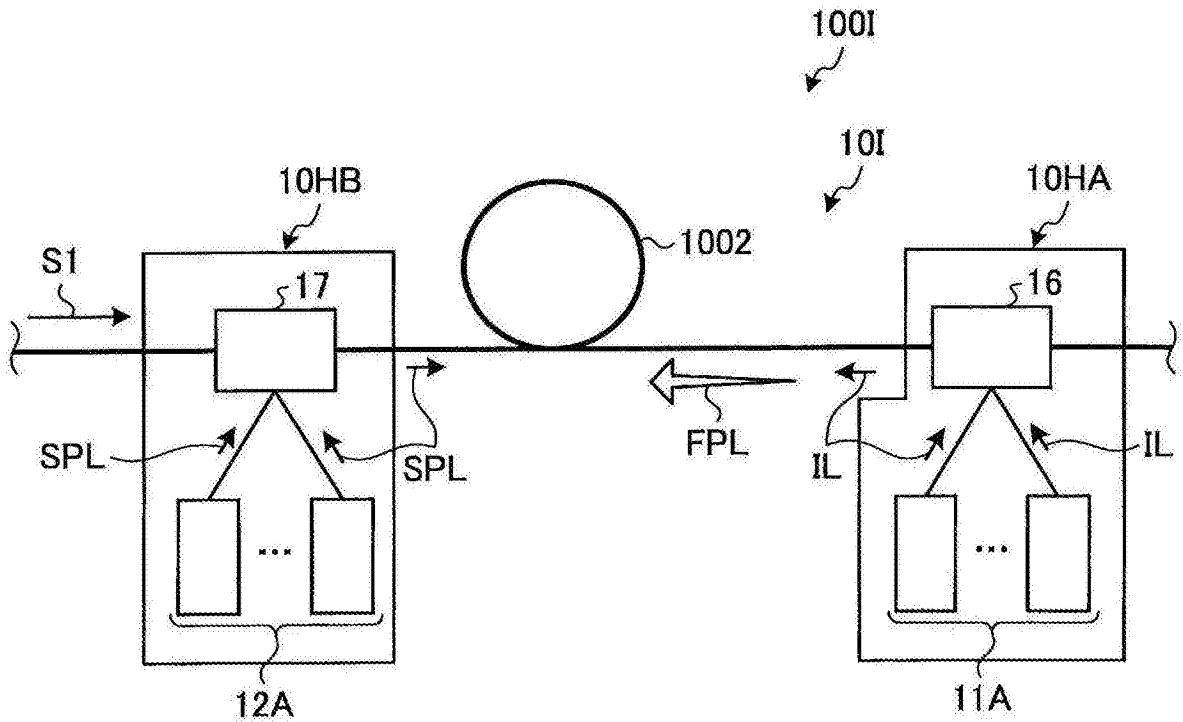


图12

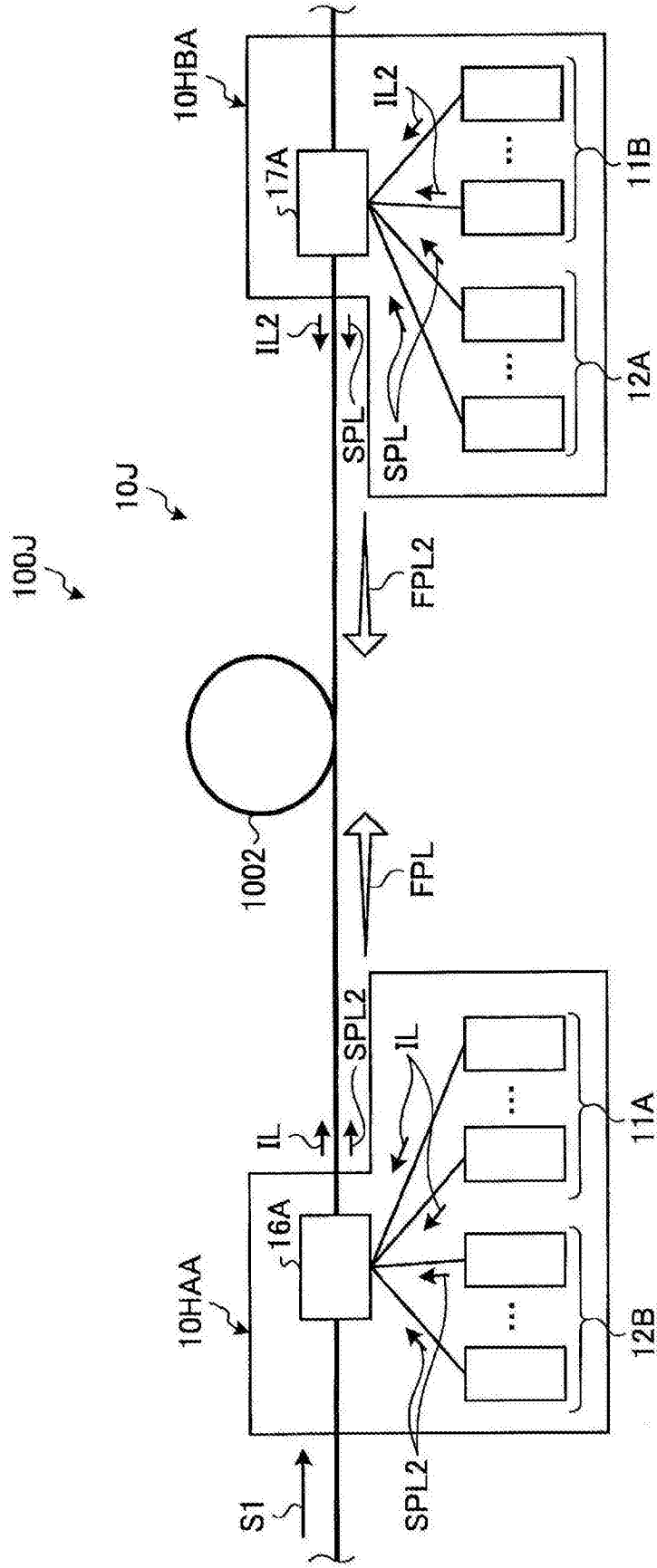


图13

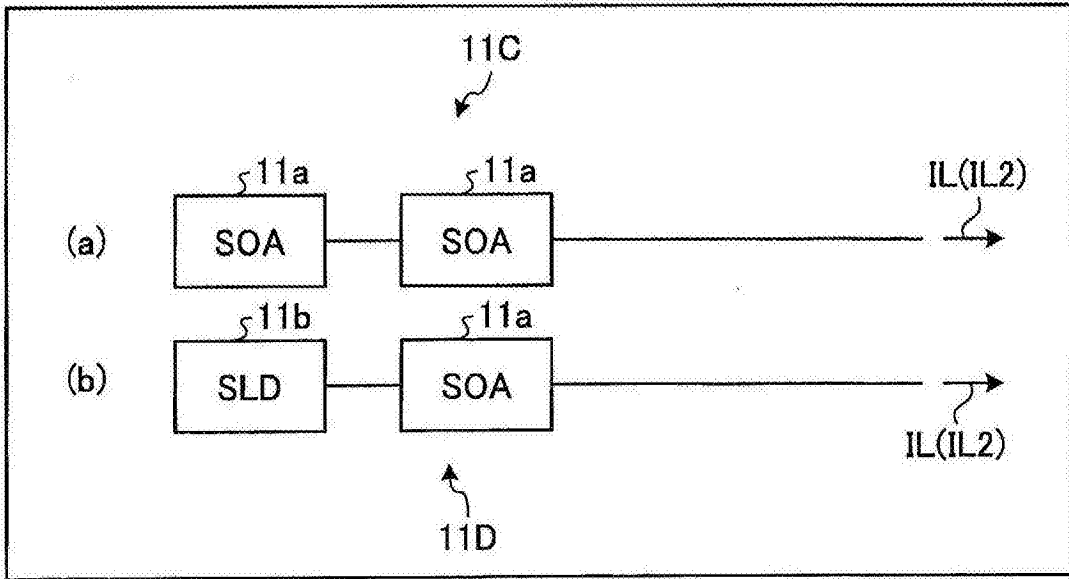


图14