[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int. Cl[6]
H04B 10/02

[12]发明专利说明书

[21] ZL 专利号 95105083.4

[45]授权公告日 1999 年 7 月 7 日

[11]授权公告号 CN 1044055C

[22]申请日 95.5.5 [24]颁证日 99.4.8
[21]申请号 95105083.4
[30]优先权
[32]94.5.6 [33]JP [31]094136/94
[73]专利权人 株式会社日立制作所
地址 日本东京
[72]发明人 中野博行
[56]参考文献
US5,020,049 1991. 5.28 H04J1/00
审查员 陈 晨

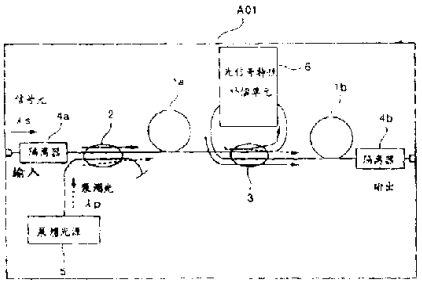
[74]专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事务所
代理人 冯赓宣

权利要求书 4 页 说明书 9 页 附图页数 9 页

[54]发明名称 光放大器

[57]摘要

一种光放大器，包括用于多路复用或多路分解信号光和泵浦光的多路复用/多 路分解单元，一个与第一多路复用/多路分解单元相连的第一光放大介质，用 于放大该信号光，一个第二多路复用/多路分解单元与第一光放大介质相连，用于多路复用或多路分解该信号光和泵浦光，一个光信号特性补偿单元与该第 二多路复用/多路分解单元相连，用于补偿该信号光的特性，和一个第二光放 大介质与该第二多路复用/多路分解单元相连，用于放大该信号光。



ISSN1008-4274

权　利　要　求　书

1．一种光放大器，具有多个光放大介质，一个泵浦光源和一个光信号特性补偿单元，其特征在于:

光信号特性补偿单元设置于所述光放大介质之间，并补偿信号光;

从泵浦光源输出的第一泵浦光被输入到所述光放大介质中的一个中;

从所述光放大介质之一的输出的第二泵浦光被输入到另外的光放大介质，不穿过光信号特性补偿单元。

2．根据权利要求1的其特征在于，所述光放大器还包括:

多个波长多路复用/多路分解单元，用于多路复用或多路分解信号光所述第一或第二泵浦光;

至少一个用于对所述泵浦光源的输出和信号光进行多路复用的波长多路复用/多路分解单元;

其他波长多路复用/多路分解单元，被设置在上述光放大介质之间;

据此，从上述其中一个光放大介质输出的泵浦光通过另一波长多路复用/多路分解单元被直接送到下一级光放大介质，并且由其中一个该光放大介质输出的信号光通过上述光信号特性补偿单元并通过另一波长多路复用/多路分解单元，并通过另一波长多路复用/多路分解单元被传送到下一级光放大介质以便再次放大该信号。

3．根据权利要求2的光放大器，其特征在于，上述光信号特

性补偿单元包括一个色散补偿单元。

4．根据权利要求2的光放大器，其特征在于，上述光信号特性补偿单元包含一个色散补偿光纤。

5．根据权利要求2的光放大器，其特征在于，上述光信号特性补偿单元包括一均衡滤波器，其光放大增益与波长相关。

6．根据权利要求1的光放大器，其特征在于，它还包括:

多个波长多路复用/多路分解单元，用于多路复用或多路分解信号光和所述第一或第二泵浦光;

一个光隔离器;

至少上述波长多路复用/多路分解单元之一多路复用上述泵浦光源的输出和信号光;

其他波长多路复用/多路分解单元，设置在上述光放大介质之间;

据此，从光放大介质之一输出的泵浦光通过其他波长多路复用/多路分解单元并被直接传送到下一级光放大介质，并且从光放大介质之一输出的信号光通过其他波长多路复用/多路分解单元并通过上述光隔离器和上述光信号特性补偿单元，然后通过另一波长多路复用/多路分解单元被送到下一级光放大介质，再次放大该信号。

7．根据权利要求6的光放大器，其特征在于，上述光信号特性补偿单元包括一个色散补偿单元。

8．根据权利要求7的光放大器，其特征在于，上述光信号特性补偿单元包括一个色散补偿光纤。

9．根据权利要求8的光放大器，其特征在于，上述光信号特

性补偿单元包括一个均衡滤波器，其光放大增益与波长相关。

10．根据权利要求 1 的光放大器，它其特征在于，它还包括:

多个波长多路复用/多路分解单元，用于多路复用或多路分解信号光和所述第一或第二泵浦光。

一个光通带滤波器;

上述波长多路复用/多路分解单元中至少一个多路复用上述泵浦光源的输出和信号光;

其他波长多路复用/多路分解单元，设置在上述光放大介质之间;

由此，从光放大介质之一输出的泵浦光通过其他波长多路复用/多路分解单元并被直接送到下一级光放大介质，并且从光放大介质之一输出的信号光通过这些其他波长多路复用/多路分解单元并通过上述光通带滤波器和上述光信号特性补偿单元，然后通过另一波长多路复用/多路分解单元被送到下一级光放大介质，以便再次放大该信号。

11．根据权利要求 10 的光放大器，其特征在于，上述光信号特性补偿单元包括一色散补偿单元。

12．根据权利要求 10 的光放大器，其特征在于，上述光信号特性补偿单元包括一色散补偿光纤。

13．根据权利要求 10 的光放大器，其特征在于，上述光信号特性补偿单元包括一均衡滤波器，其光放大增益与波长相关。

14．根据权利要求 1 的光放大器，其特征在于，它还包括:

多个波长多路复用/多路分解单元，用于多路复用或多路分解信号光和所述第一或第二泵浦光;

一个光隔离器；以及

一个光通带滤波器；

至少上述波长多路复用/多路分解单元之一多路复用上述泵浦光源的输出和信号光；

其他波长多路复用/多路分解单元，设置在上述光放大介质之间；

由此，由光放大介质之一输出的泵浦光通过其他波长多路复用/多路分解单元并被直接送到下一级光放大介质，并且从光放大介质之一输出的信号先通过其他的波长多路复用/多路分解单元并通过上述光隔离器，上述光通带滤波器和上述光信号特性补偿单元，并然后通过另一波长多路复用/多路分解单元被送到下一级光放大介质以便再次放大该信号。

15．根据权利要求 14 的光放大器，其特征在于，上述光信号特性补偿单元包括一色散补偿单元。

16．根据权利要求 14 的光放大器，其特征在于，上述光信号特性补偿单元包括一个色散补偿光纤。

17.根据权利要求 14 的光放大器，其特征在于，上述光信号特性补偿单元包括一个均衡滤波器，其光放大增益与波长相关。

说　　明　　书

光放大器

本发明涉及用于光通信系统中诸如光发送器/接收器设备或光中继器等光传输设备的光放大器。

先有技术中，色散补偿光纤用于光接收器或光发送器以便抑制由于传输线路光纤的波形散射引起的光信号的波形失真，但是由于其很大的损耗，必须将色散补偿光纤与光放大器共同使用以便补偿这种损耗。这项技术在 OSA Optical Fiber Communication Conference, 1992,pp.367 — 370 中公开。

图 14 示出使用先有技术的色散补偿光发送器 100 与先有技术色散补偿光接收器 200 的光纤传输系统的一种配置。该光发送器 100 包括一个掺铒光纤放大器 101α，色散补偿光纤 103a 与一个电光转换器 104。该光接收器 200 包括掺铒光纤放大器 201a 与 201b，光通带滤波器 202a 与 202b，色散补偿光纤 203a 与 203b 以及一个光电转换器 205。所使用的色散补偿光纤的损耗对于光信号电平分别为 3.1dB， 10.6dB 与 5.3dB。为了补偿这种损耗，总共使用了三个掺铒光纤，这种光纤通过应用分离的泵浦光源(pumping light sources)对信号光进行放大。当增添了色散补偿光纤时，该光纤放大器的特性为，当在前一级设置色散补偿光纤时则噪声系数由于损耗而增加，而在下一级设置色散补偿光纤光输出因损耗而减小。

在图 14 所示的已知的色散补偿光发送器与色散补偿光接收器中，由于色散补偿光纤的巨大损耗而降低了光信号电平。当使用该

光放大器以补偿这种损耗时，光放大器的光输出降低并引起了噪声系数增加这样的问题。为了避免这一问题，必须设置独立的光放大器。

本发明的一个目的是提供一种光放大器，该光放大器能够抑制光输出的降低和噪声系数的增加，即使当使用耗损型色散补偿单元时也无须增加泵浦光的功率或增加泵浦光源的数量。

为了达到以上目的，根据本发明的光放大器，光放大介质被分区，并且在一个分区中提供了对于泵浦光和信号光进行多路复用或多路分解的波长多路复用/多路分解单元，并且该泵浦光被直接发送到下一级光放大介质，这时该信号光是通过一个诸如色散补偿光纤等光信号特性补偿单元发送到下一级光放大介质的，这使得由于光信号特性补偿单元的损耗所造成的光信号电平的降低得以抑制。

在本发明的光放大器中，信号光电平由于其通过光信号特性补偿单元而被降低，但由于应用了没有被前一级光放大介质消耗的泵浦光，它又被下一级光放大介质放大。在下一级光放大介质中，由于输入光的功率低，它接近非饱和态因而增益提高。其结果使得可设定下一级的光放大介质的增益高于该光信号特性补偿单元的损耗。通过把前一级光放大介质的增益设置得足够大，光放大器的噪声系数基本上决定于前一级，于是所插入的光信号特性补偿单元的损耗对该噪声系数的影响得到抑制。

图 1 表示一个光放大器第一实施例的配置，

图 2 说明该第一实施例的光放大器的效果，

图 3 表示光放大器第二实施例的配置，

图 4 表示光放大器第三实施例的配置，

图 5 表示光放大器第四实施例的配置，

图 6 表示光放大器的第五实施例的配置，

图 7 表示光放大器的第六实施例的配置，

图 8 表示光放大器的第七实施例的配置，

图 9 表示光放大器的第八实施例的配置，

图 10 表示光放大器的第九实施例的配置，

图 11 表示一个光传瑜系统第一实施例的配置，

图 12 表示光传输系统第二实施例的配置，

图 13 表示光传输系统第三实施例的配置，

图 14 表示在光发送器/接收器中应用色散补偿光纤的先有技术的光传输系统的一个配置。

现结合附图说明本发明的一个实施例。图 1 表示本发明第一实施例的光放大器的一个配置。光放大器 A01 包括作为光放大介质的掺稀土光纤 1a，波长多路复用/多路分解单元 2 和 3，光隔离器 4a 与 4b，一个泵浦光源 5 和光信号特性补偿单元 6。该光信号特性补偿单元 6 可以是一个光谐振器，诸如具有反向色散性质或基准(etalon)的高色散光纤，该光谐振器可对传输线路光纤的色散进行补偿，并且对于波长多路复用传输系统，该补偿单元可以是具有光放大介质增益的波长相关均衡滤光器。图 1 中，信号光波长 λ_s 由实线箭头表示，而泵浦光波长 λ_p 由虚线箭头表示。该信号光与泵浦光分别通过光隔离器 4a 与波长多路复用/多路分解单元 2 和通过波长多路复用/多路分解单元 2 加到掺稀土光纤 1a 上，使得该信号光被放大。对于未被波长多路复用/多路分解单元 2 使用的一个端

口，由该光纤的一个斜端终结。然后该信号光依次通过波长多路复用/多路分解单元 3，光信号特性补偿单元 6 以及波长多路复用/多路分解单元 3，而泵浦光仅通过该波长多路复用/多路分解单元 3 加到下一级掺稀土光纤 1b 上，并且信号光又被放大。通常情况下，在掺稀土光纤 1b 中，信号输入是大的，因为信号光已由掺稀土光纤 1a 放大，并且该光纤处于增益饱和态故其增益是低的。但本实施例的配置中，由于只是信号光在光信号特性补偿单元中受到损耗，故其信号输入降低，而掺稀土光纤 1b 接近非饱和态而增益提高。其结果是，掺稀土光纤 6 的损耗被掺稀土光纤 1b 补偿，并就整个光放大器 A01 来看其增益与光信号特性补偿单元 6 的非耗损状态相比并没有被损耗降低。

参见图 2，其中说明了第一实施例的效果。图 1 配置的光放大器按实际构成，并且对增益和噪声系数(仅考虑信号与被放大的自发发射的光之间的节拍噪声成分)对于输入信号光功率进行了实际的测量。信号光波长为 1552nm，泵浦光波长为 980nm。为了考察光信号特性补偿单元 6 的损耗效果，插入了具有 5dB 与 10dB 损耗的光衰减器。记号■是指光衰减器的 5dB 损耗，记号▲是指光衰减器的 10dB 损耗，以及●是指没有插入光衰减器(0dB 损耗)。泵浦光加于掺稀土光纤 1a 功率为 50mw 常量，不考虑损耗存在与否。当输入信号光功率小于— 20dBm 时，对于 5dB 的损耗增益的减少近似为 2dB，而对于 10dB 的损耗增益的减少近似为 4dB， 这小于损耗的一半。另一方面，噪声系数对于各种损耗情形基本维持在 5dB 不变。本实验表明，在本发明的第一实施例的光放大器中，光信号特性补偿单元的损耗不用增加泵浦光功率即可被补偿。这实际

还指出噪声系数也没有显出显著的变化。

图 3 示出本发明的光放大器的第二实施例的配置。光放大器 A02 包括作为放大介质的掺稀土光纤 1a 与 1b，波长多路复用/多路分解单元 2，3a 与 3b，光隔离器 4a 与 4b，泵浦光源 5 与光信号特性补偿单元 6。信号光与泵浦光分别通过光隔离器 4a 及波长多路复用/多路分解单元 2 与通过波长多路复用/多路分解单元 2 加到掺稀土光纤 1a，并且该信号光被放大。然后该信号光依次通过波长多路复用/多路分解单元 3a，光信号特性补偿单元 6 以及波长多路复用/多路分解单元 3b，并且泵浦光仅通过波长多复用/多路分解单元 3a 与 3b，加到下一级掺稀土光于是使得信号光又被放大。本实施例中，获得了与第一实施例相同的效果。

图 4 示出本发明的光放大器的第三实施例的配置。光放大器 A03 包括作为光放大介质的掺稀土光纤 1a 与 1b，波长多路复用/多路分解单元 2 和 3，光隔离器 4a 和 4b，泵浦光源 5 与光信号特性补偿单元 6。信号光通过光隔离器 4a 加到掺稀土光纤 1a 并被泵浦光放大，该泵浦光依次通过波长多路复用/多路分解单元 2，掺稀土光纤 1b 及波长多路复用/多路分解单元 3。该信号光这时依次通过波长多路复用/多路分解单元 3，光信号特性补偿单元 6 以及波长多路复用/多路分解单元 3 而加到下一级通过波长多路复用/多路分解单元 2 被泵浦的掺稀土光纤 1b，使得该信号光又被放大。本实施例中，获得了与第一实施例相同的效果。

图 5 表示了本发明的光放大器的第四实施例的配置。光放大器 A04 包括作为光放大介质的掺稀土光纤 1a 和 1b，波长多路复用/多路分解单元 2a、2b 与 3，光隔离器 4a 与 4b，泵浦光源 5a 和

5b 以及光信号特性补偿单元 6。信号光通过光隔离器 4a 与波长多路复用/多路分解单元 2a 加到掺稀土光纤 1a，并被通过波长多路复用/多路分解单元 2a 的第一泵浦光(5a)及依次通过波长多路复用/多路分解单元 2b，掺稀土光纤 1b 及波长多路复用/多路分解单元 3 的第二泵浦光(5b)放大。这时该信号光依次通过波长多路复用/多路分解单元 3，光信号特性补偿单元 6 以及波长多路复用/多路分解单元 3，并且该第一泵浦光和第二泵浦光分别通过波长多路复用/多路分解单元 3 及通过波长多路复用/多路分解单元 2 加到下一级掺稀土光纤 1b，使得信号光又被放大。在本实施例中，获得了与第一实施例相同的效果。

图 6 示出本发明的光放大器的第五实施例的一个配置。光放大器 A05 包括作为光放大介质的掺稀土光纤 1a 与 1b，波长多路复用/多路分解单元 2a，2b 与 3，光隔离器 4a 与 4b，泵浦光源 5，光信号特性补偿单元 6 及反射镜 7。信号光是通过光隔离器 4a 与波长多路复用/多路分解单元 2a 加到掺稀土光纤 1a 的。泵浦光通过波长多路复用/多路分解单元 2a 加到掺稀土光纤 1a，并且在掺稀土光纤 1a 中没有被损耗的泵浦光通过波长多路复用/多路分解单元 3，掺稀土光纤 1b 及波长多路复用/多路分解单元 2b 并被反射镜 7 反射，并通过同样的通路且指向掺稀土光纤 1a，使得该信号光又被放大。这时，该信号光依次通过波长多路复用/多路分解单元 3，光信号特性补偿单元 6 以及波长多路复用/多路分解单元 3，并且信号光与泵浦光分别通过波长多路复用/多路分解单元 3 以及通过波长多路复用/多路分解单元 2b 加到下一级掺稀土光纤 1b，于是信号光被放大。本实施例中，获得了与第一实施例同样的效

果。本实施例中因为泵浦光被反射应用，故获得较高的放大效果。

图 7 表示出本发明的第六实施例的配置。光放大器 A06 包括作为光放大介质的掺稀土光纤 1a， 1b 与 1c，波长多路复用/多路分解单元 2， 3a 与 3b，光隔离器 4a 与 4b，泵浦光源 5 与光信号特性补偿单元 6a 与 6b。信号光通过光隔离器 4a 与波长多路复用/多路分解单元 2 加到掺稀土光纤 1a。泵浦光通过波长多路复用/多路分解单元 2 加到掺稀土光纤 1a 使得信号光被放大。该信号光这时依次通过波长多路复用/多路分解单元 3a，光信号特性补偿单元 6a 及波长多路复用/多路分解单元 3a，并且泵浦光通过波长多路复用/多路分解单元 3a 加到掺稀土光纤 1b 使得该信号光只被放大。该信号光依次通过波长多路复用/多路分解单元 3b，光信号特性补偿单元 6b 以及多路复用/多路分解单元 3b，并且泵浦光通过波长多路复用/多路分解单元 3b 加到下一级掺稀土光纤 1c，从而使得该信号先又被放大。光放大介质的数目不是必须为 2 而是可以为 3 或更多。本实施例中，获得了与第一实施例相同的效果。而且本实施例中在光放大器可装入多个光信号补偿单元而可获得联合特性补偿。

图 8 — 10 表示了本发明光放大器的第七到第九实施例的配置。这些配置类似于图 1 所示的第一实施例的配置，所不同之处是在光信号特性补偿单元 6(图 8)，输出(图 9)及输入/输出(图 10)中设置了光学部件 4c。光学部件 4c 可以是一个光隔离器，现说明如下。光信号特性补偿单元 6 可以是一个色散补偿光纤，因而光纤的 Raileigh 散射或来自光连接器的反射光被返回到光放大器介质，使得光信号的放大特性会恶化。通过插入该光隔离器，这种反射光被

抑制。该光隔离器阻止了反方向自然射出的光从光放大介质 1b 到光放大介质 1a 的传播。于是得到了较高的增益与较低的噪声的光放大器。

现在假设光学部件 4c 是一光通带滤波器。该光通带滤波器仅对信号光领域中的光产生均衡作用，而抑制该信号带以外的额外的自然发射和被放大的光进入下一级或上一级光放大介质。于是得到了类似的高增益低噪声的光放大器。

当光学部件 4c 是具有光隔离器与光通带滤波器串连的复杂的光学部件时，则插入光隔离器的效果与插入光通带滤波器的效果同时得到，使得可获得较高增益和较低噪声的光放大器。

图 11 示出了应用本发明的光放大器的光传输系统的第一实施例的配置。它包括光发送器 100，传输线路光纤 106 和光接收器 200。光发送器 100 包括一个电光转换器 104 与具有光信号特性补偿单元装入其中的光放大器 105。光放大器 105 可以是第一到第九实施例中所示的光放大器之一。根据本实施例，获得了可抑制由于在光发送器中光信号特性补偿单元的植入所引起的光放大器增益或噪声特性的恶化的光传输系统。

图 12 示出了应用本发明的光放大器的光传输系统第二实施例的配置。它包括一个光放大器 100，传输线路光纤 106 与光接收器 200。该光接收器 200 包括具有植入的光信号特性补偿单元的光放大器 206 和光电转换器 205，光放大器 206 可以是第一到第九实施例中所示光放大器之一。根据本实施例，获得了抑制了由于在光接收器中植入光信号特性补偿单元而产生的光放大器的增益与噪声特性的恶化的光传输系统。

图 13 示出了应用本发明的光放大器的光传输系统的第三实施例的配置。它包括光发送器 100，传输线路光纤 106，光放大中继器 300 和光接收器 200．光放大中继器 300 可以是第一到第九实施例中所示的光放大器之一。根据本实施例，可获得抑制了由于在光放大中继中光信号特性补偿单元的植入所引起的光放大器增益及噪声特性恶化的光传输系统。

根据本发明，获得了无须增加泵浦光功率及泵浦光源数目即可对光信号特性补偿单元的损耗进行补偿并抑制先输入的降低及噪声系数增加的光放大器。因而，获得了使得增益的降低与噪声系数的增加得以抑制的简单低廉结构的光放大器，同时增加了诸如色散补偿这样的新功能。

说 明 书 附 图

图 1.

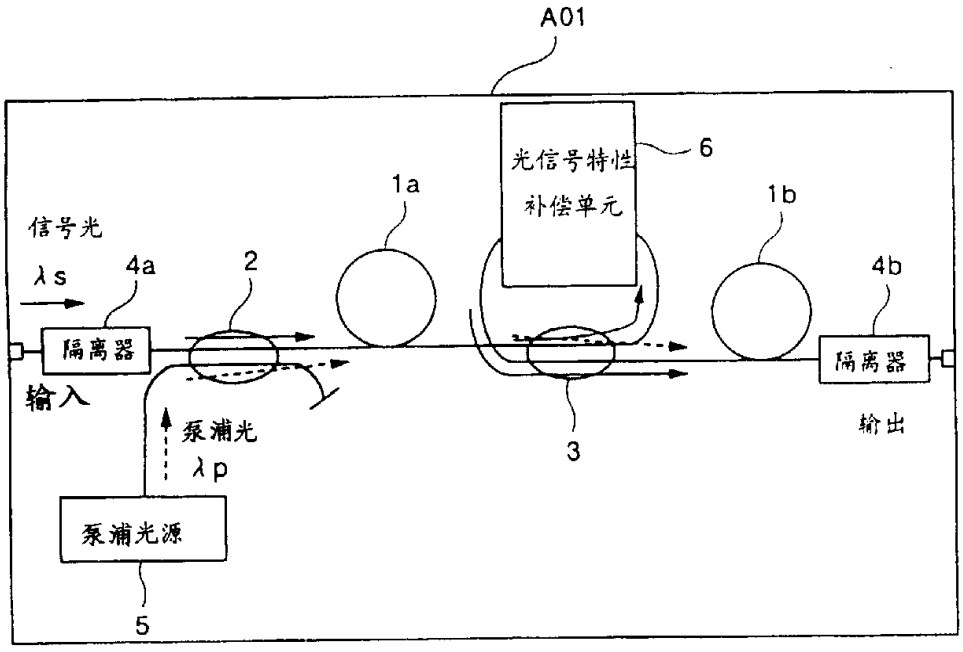


图 2

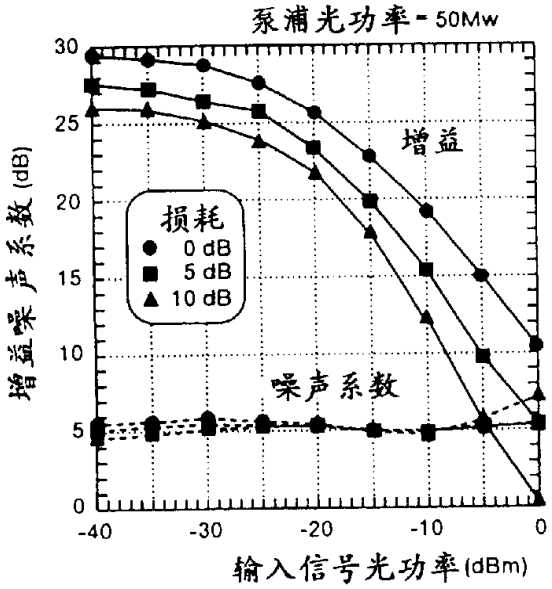

泵浦光功率 - 50Mw
增益噪声系数 (dB)
30
25
20
15
10
5
0
-40
-30
-20
-10
0
增益
损耗
0 dB
5 dB
10 dB
噪声系数
输入信号光功率(dBm)

图 3

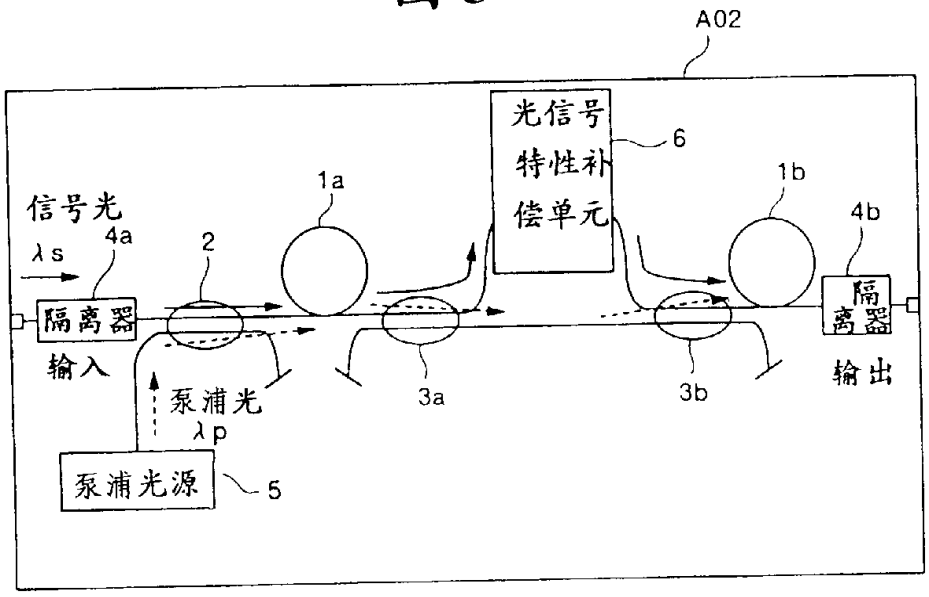

A02
光信号
特性补
偿单元
6
1a
1b
信号光
λs
4a
2
4b
隔离器
隔离器
输入
输出
泵浦光
λp
3a
3b
泵浦光源
5

图 4

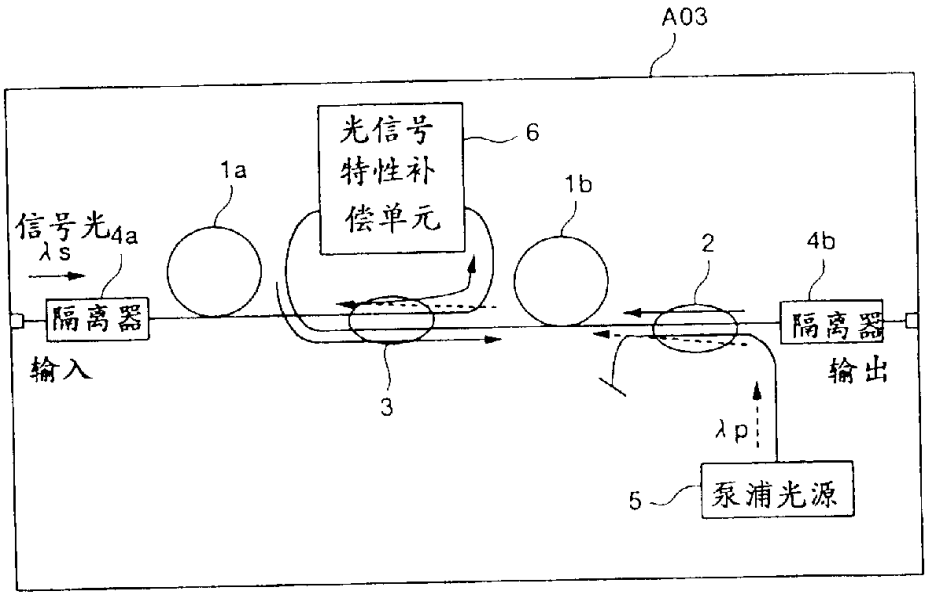

A03
光信号
特性补
偿单元
6
1a
1b
信号光
λs
4a
2
4b
隔离器
隔离器
输入
输出
3
λp
5
泵浦光源

图5

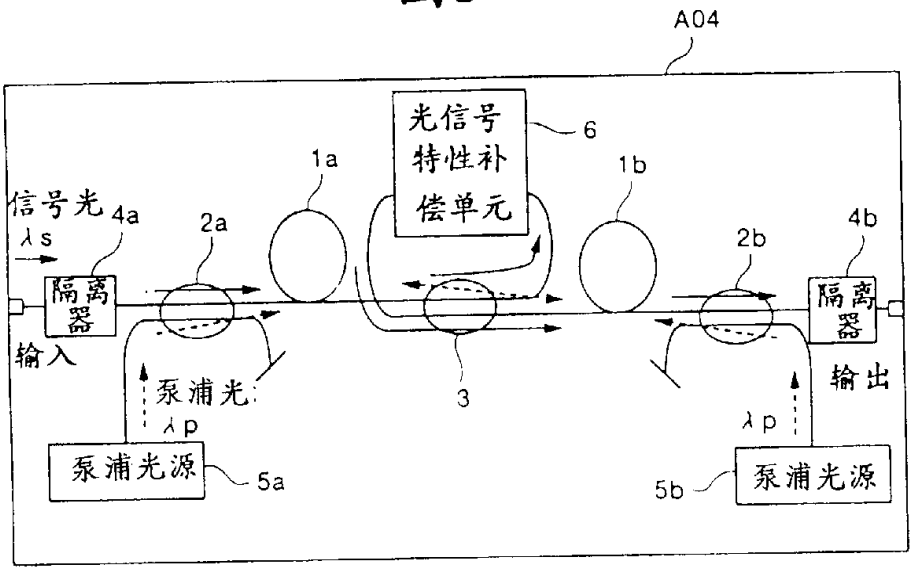

A04
光信号
特性补
偿单元
6
1a
1b
信号光
λs
4a
2a
2b
4b
隔离器
隔离器
输入
输出
泵浦光
λp
λp
3
泵浦光源
5a
5b
泵浦光源

图6

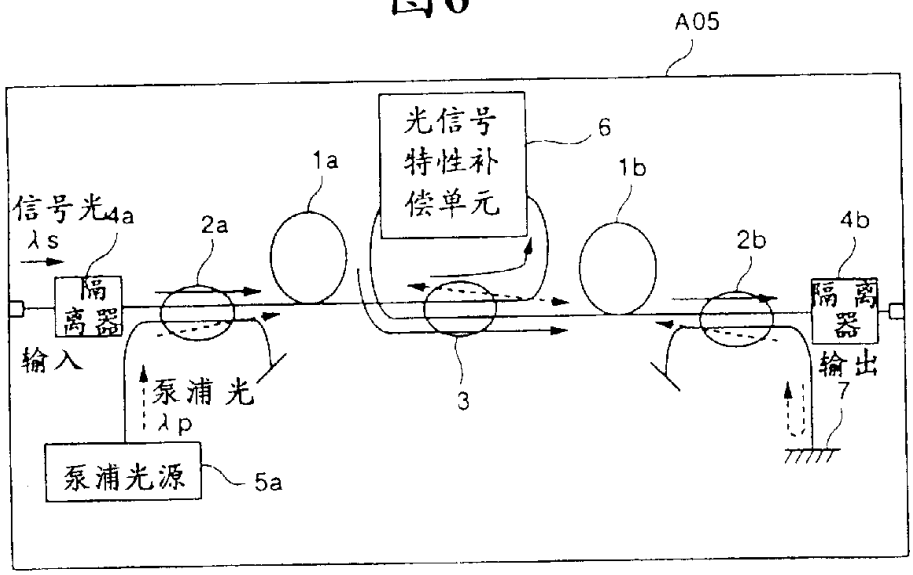

A05
光信号
特性补
偿单元
6
1a
1b
信号光
λs
4a
2a
2b
4b
隔离器
隔离器
输入
输出
泵浦光
λp
3
7
泵浦光源
5a

图 7

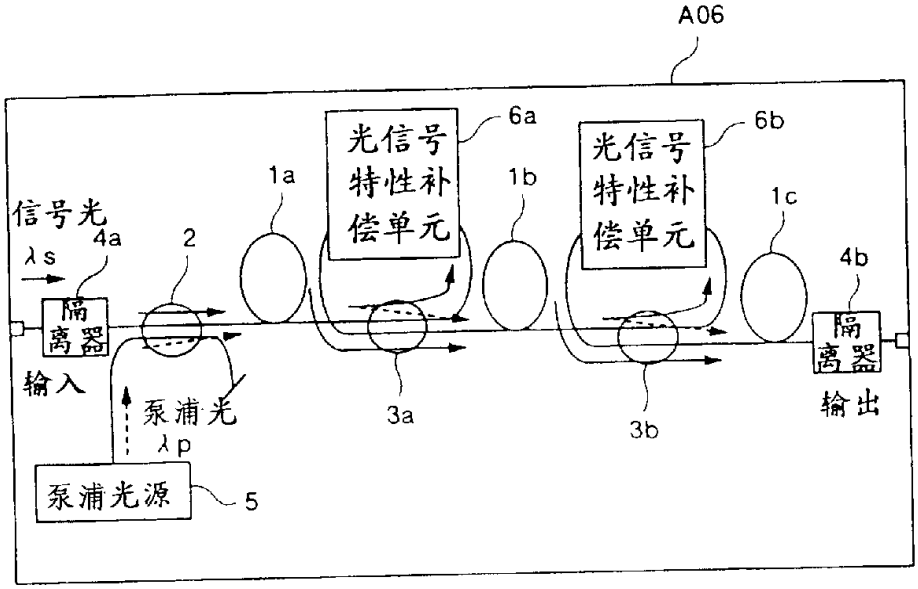

A06
光信号特性补偿单元
6a
光信号特性补偿单元
6b
1a
1b
1c
信号光
λs
4a
2
4b
隔离器
隔离器
输入
输出
泵浦光
λp
3a
3b
泵浦光源
5

图 8

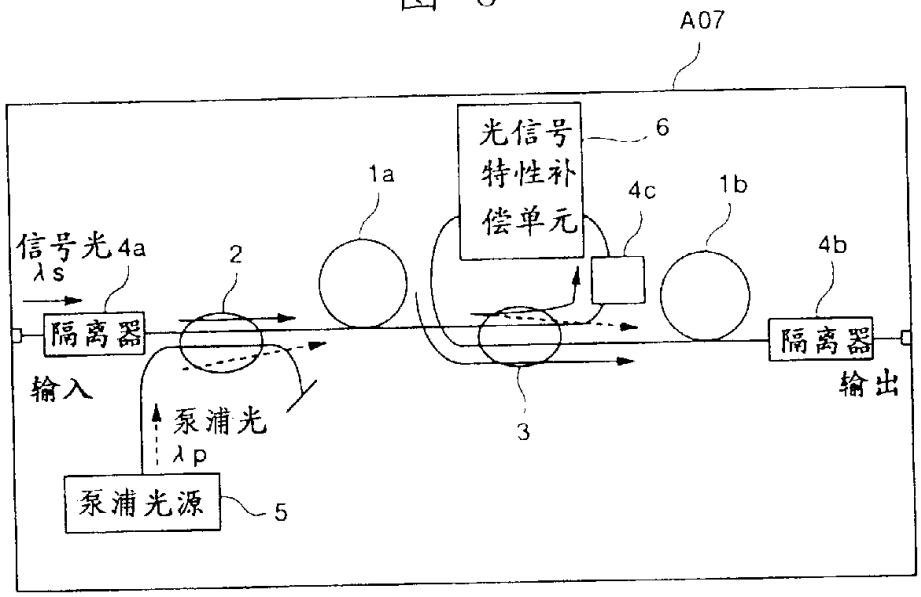

A07
光信号特性补偿单元
6
1a
4c
1b
信号光
λs
4a
2
4b
隔离器
隔离器
输入
输出
泵浦光
λp
3
泵浦光源
5

图 9

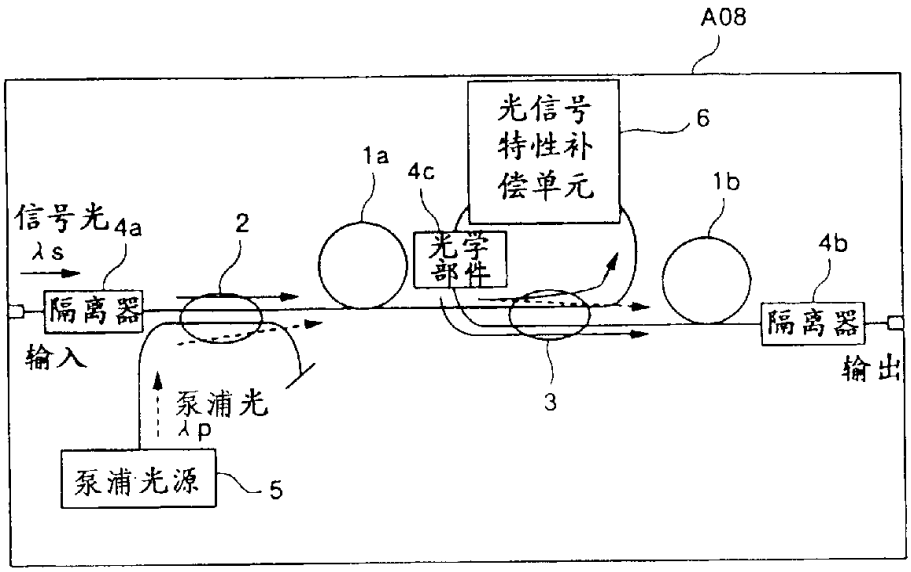

A08
光信号
特性补
偿单元
6
1a
4c
1b
信号光
λs
4a
2
光学
部件
4b
隔离器
隔离器
输入
输出
泵浦光
λp
3
泵浦光源
5

图 10

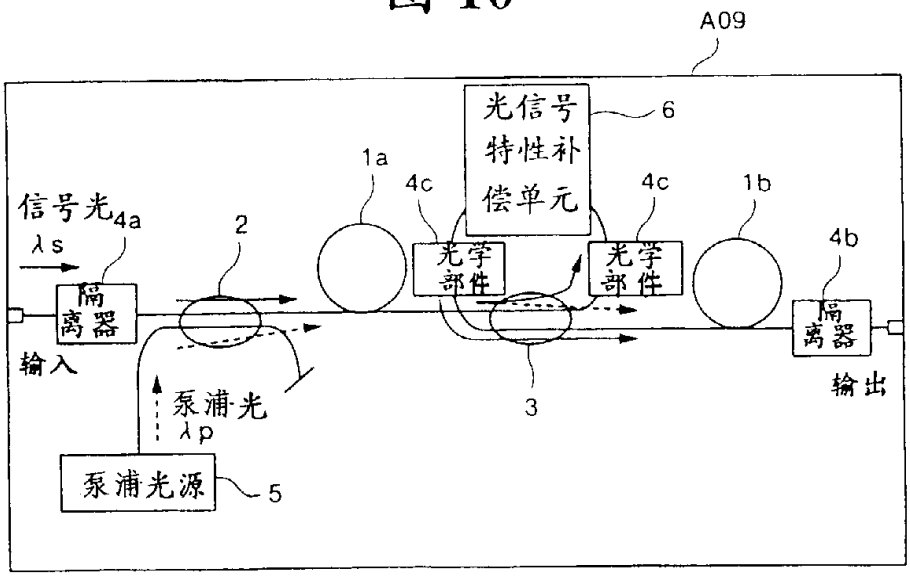

A09
光信号
特性补
偿单元
6
1a
4c
4c
1b
信号光
λs
4a
2
光学
部件
光学
部件
4b
隔
离器
隔离器
输入
输出
泵浦光
λp
3
泵浦光源
5

图11

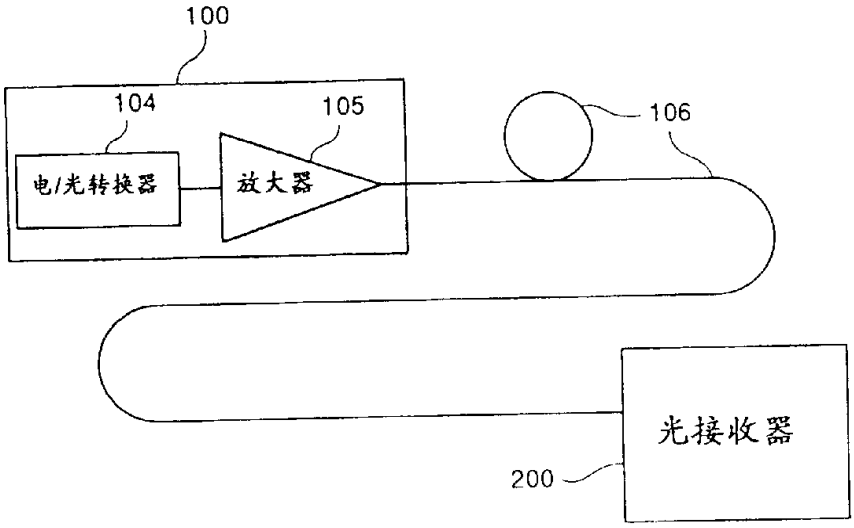

100
104
105
106
电/光转换器
放大器
光接收器
200

图 12

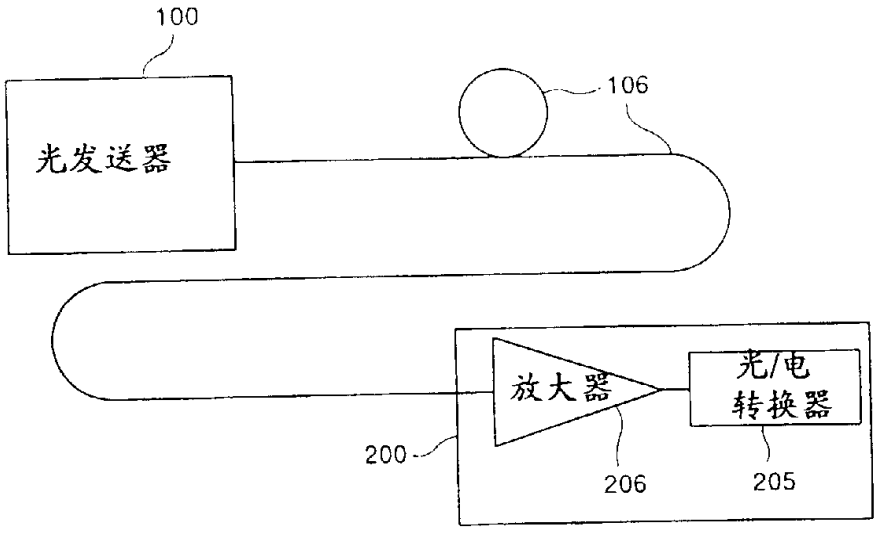

100
106
光发送器
放大器
光/电
转换器
200
206
205

图 13

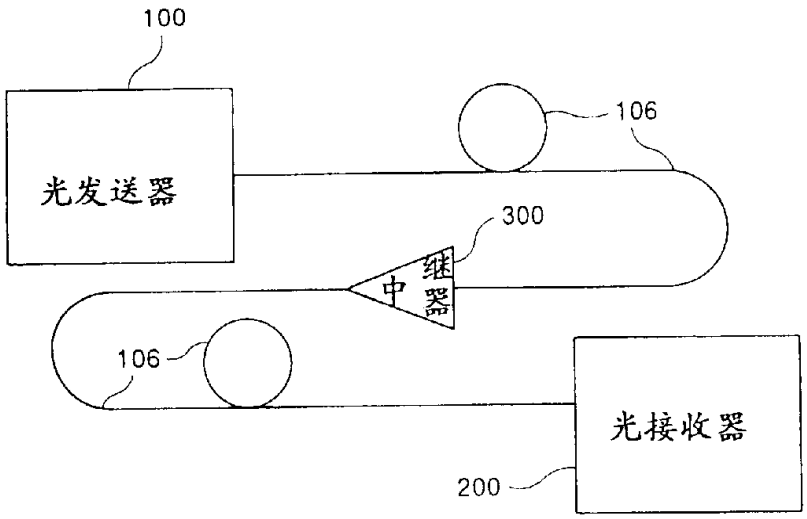
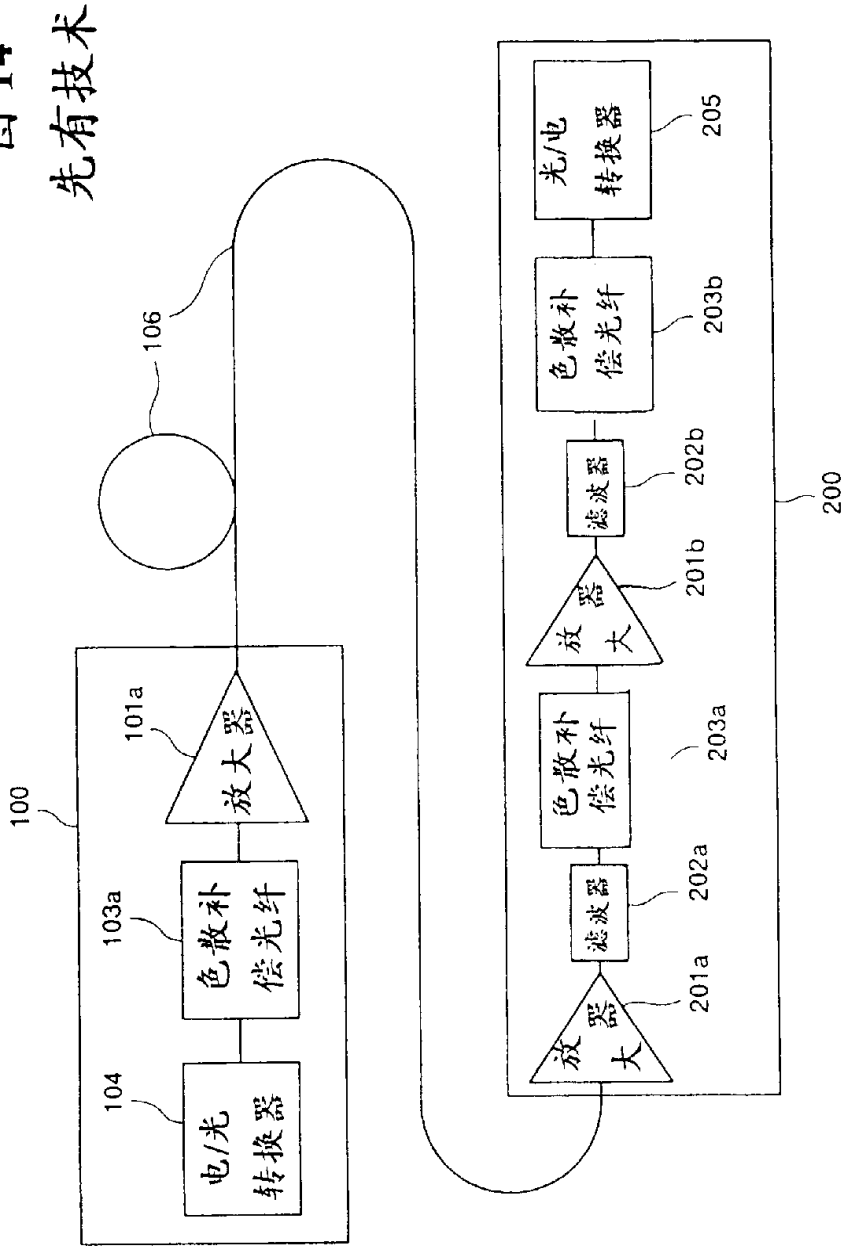


图 14
先有技术


100
101a
放大器
103a
色散补偿光纤
104
电/光转换器
106
200
201a
放大器
202a
滤波器
203a
色散补偿光纤
201b
放大器
202b
滤波器
203b
色散补偿光纤
205
光/电转换器