

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H04B 10/17 (2006.01)

H04B 10/08 (2006.01)

H04J 14/02 (2006.01)

H01S 3/10 (2006.01)



# [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200510000568.4

[43] 公开日 2006年2月15日

[11] 公开号 CN 1734987A

[22] 申请日 2005.1.7

[21] 申请号 200510000568.4

[30] 优先权

[32] 2004.8.2 [33] JP [31] 2004-225131

[71] 申请人 富士通株式会社

地址 日本神奈川县

[72] 发明人 尾中美纪 林悦子 尾中宽

[74] 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司

代理人 黄纶伟

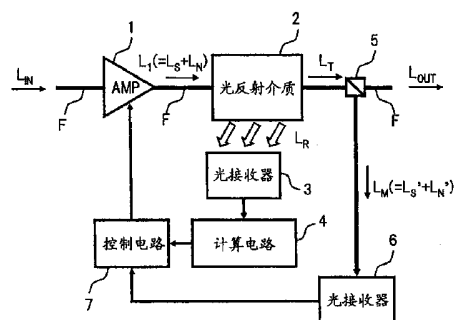
权利要求书 4 页 说明书 18 页 附图 7 页

## [54] 发明名称

光放大器和光监测回路

## [57] 摘要

光放大器和光监测回路。本发明的光放大器包括：光放大回路，其放大信号光；光反射介质，其被设置在与所述光放大回路相连接的光纤上，并能够反射在所述光放大回路产生的噪声光中的存在于信号波段之外的预定波长范围内的噪声光，并将所反射的噪声光照射到光纤的纤芯之外；光接收器，其接收被所述光反射介质反射而照射到所述光纤的纤芯之外的噪声光，以检测所述噪声光的功率；以及计算电路，其根据所述光接收器的检测结果计算在所述光放大回路中产生的噪声光的总功率。因而，可以低成本地提供光放大器，其具有能够利用简单的光回路结构高精度地检测在放大信号光时产生的噪声光功率等的监测功能。



- 1、一种光放大器，包括：  
光放大部，其放大信号光；
- 5 光反射介质，其被设置在与所述光放大部相连接的光纤上，并能够反射所述光放大部中产生的噪声光中的存在于一信号波段之外的预定波长范围内的噪声光，并将所反射的噪声光照射到所述光纤的纤芯之外；  
光接收部，其接收被所述光反射介质反射而照射到所述光纤的纤芯之外的所述噪声光，以检测所述噪声光的功率；以及
- 10 计算部，其根据所述光接收部的检测结果计算在所述光放大部中产生的所述噪声光的总功率。
- 2、根据权利要求1所述的光放大器，  
其中，当所述光放大器在与所述光放大部相连接的光纤上包括根据预先设置的透射波长特性透过信号光的滤光器件时，所述滤光器件具有
- 15 所述光反射介质的功能。
- 3、根据权利要求2所述的光放大器，  
其中，所述光放大部放大包含不同波长的多个信号光的波分复用光，并且
- 所述滤光器件是增益均衡滤光器，其具有能够使所述光放大部在所述波分复用光的信号波段中的增益波长特性平坦化的透射波长特性，还具有能够反射存在于所述信号波段外的预定波长范围内的噪声光以将所
- 20 反射的噪声光照射到所述光纤的纤芯之外的反射特性。
- 4、根据权利要求3所述的光放大器，  
其中，所述增益均衡滤光器具有能够反射与所述各信号光的波长对
- 25 应的光而将所反射的光照射到所述光纤的纤芯之外的反射特性，  
所述光接收部包括：第一接收器，其接收被所述增益均衡滤光器反射而照射到所述光纤的纤芯之外的所述噪声光，以检测所述噪声光的功率；以及第二光接收器，其接收与被所述增益均衡滤光器反射而照射到所述光纤的纤芯之外的所述各信号光的波长对应的光，以检测所述光的

功率，并且

所述计算电路根据所述第一光接收器的检测结果，计算在所述光放大部中产生的噪声光的总功率，并根据所述第二光接收器中的检测结果判断信号波段中的所述光功率的波长特性。

5 5、根据权利要求2所述的光放大器，

其中，所述光放大部放大单波长的信号光，并且

所述滤光器件是用于滤除噪声光的滤光器，其透射波段的中心是所述信号光的波长，并具有能够反射存在于所述透射波段之外的预定波长范围内的噪声光以将所反射的噪声光照射到所述光纤的纤芯之外的反射  
10 特性。

6、根据权利要求1所述的光放大器，

其中，所述光反射介质包括衍射光栅，其中光栅平面的法线方向被设置为相对于所述光纤的轴向倾斜，并且所述光反射介质反射通过所述光纤传播的光中的一部分以将所反射的光照射到所述光纤的纤芯之外。

15 7、根据权利要求6所述的光放大器，

其中，所述光反射介质包括倾斜光纤光栅，其中相对于所述光纤的轴向倾斜地形成有布拉格衍射光栅。

8、根据权利要求7所述的光放大器，

其中，所述光反射介质包括倾斜啁啾光纤光栅，其中所述布拉格衍  
20 射光栅的光栅间距沿所述光纤的轴向逐渐变化。

9、根据权利要求8所述的光放大器，

其中，所述光接收部设置在与被所述光反射介质反射而照射到所述光纤的纤芯之外的光的焦距相应的位置上。

10、根据权利要求8所述的光放大器，

25 其中，所述光接收部设置在比被所述光反射介质反射而照射到所述光纤的纤芯之外的光的焦点更靠近所述光反射介质侧的位置上。

11、根据权利要求6所述的光放大器，

其中，通过在所述光纤上设置光子晶体来形成所述衍射光栅，从而构成所述光反射介质。

- 12、根据权利要求1所述的光放大器，  
其中，提供了控制部，其根据在所述计算部中计算的噪声光的总功率来校正来自所述光放大部的光输出功率中包含的噪声光功率，以计算仅信号光成分的光输出功率，从而依据该计算结果控制所述光放大部分。
- 5 13、根据据权利要求1所述的光放大器，  
其中，将在所述计算部中计算出的噪声光的总功率传送到下游侧光放大器，并且在所述下游侧光放大器中，根据通过从所述总输出光功率中减去上游侧光放大器中产生的噪声光功率而计算出的仅信号光的光功率，检测信号光输入的停止。
- 10 14、根据权利要求1所述的光放大器，  
其中，所述光反射介质能够反射所述光放大部的增益峰值波长附近的噪声光，以将所反射的噪声光照射到所述光纤的纤芯之外，并且  
提供了控制部，其控制所述光放大部，使得由所述光接收部检测到的位于所述增益峰值波长附近的噪声光功率低于预先设置的振荡阈值。
- 15 15、根据权利要求1所述的光放大器，  
其中，所述光放大部包括掺稀土元素的光放大器。
- 16、根据权利要求1所述的光放大器，  
其中，所述光放大部包括拉曼放大器，其将泵浦光注入光放大介质中，以对所述信号光进行拉曼放大。
- 20 17、根据权利要求1所述的光放大器，  
其中，所述光放大部包括半导体光放大器。
- 18、一种光监测回路，包括：  
光反射介质，其被设置在传播不同波长的多个光的光纤上，所述光反射介质包括衍射光栅，其中光栅平面的法线方向被设置为相对于光纤  
25 的轴向倾斜，并且其反射特性被设计为使得在通过所述光纤传播的光中，对于第一波段的光的反射率和对于与所述第一波段不同的第二波段的光的反射率彼此不同，并且其能够将所反射的光照射到所述光纤的纤芯之外；  
第一光接收部，其接收被所述光反射介质反射而照射到所述光纤的

纤芯之外的所述第一波段的光，以检测所照射的光的功率；以及

第二光接收部，其接收被所述光反射介质反射而照射到所述光纤的纤芯之外的所述第二波段的光，以检测所照射的光的功率。

19、根据权利要求 18 所述的光监测回路，

5 其中，通过所述光纤传播的光包含所述第一波段中的信号光，并且在所述第二波段中只存在噪声光，并且

在所述光反射介质中，所述衍射光栅的反射特性被设计为使得对于所述第二波段中的噪声光的反射率高于对于所述第一波段的光的反射率。

10 20、根据权利要求 18 所述的光监测回路，

其中，所述光反射介质包括倾斜光纤光栅，所述倾斜光纤光栅相对于所述光纤的轴向倾斜地形成有布拉格衍射光栅。

21、根据权利要求 20 所述的光监测回路，

15 其中，所述光反射介质包括倾斜啁啾光纤光栅，其中所述布拉格衍射光栅的光栅间距沿所述光纤的轴向逐渐变化。

光放大器的操作控制相关的一个课题，考虑建立用于控制光放大器中继站的输出波长特性的技术（第一课题）。

另外，在光放大器中，伴随光放大还产生了作为噪声成分的放大自发辐射（ASE）光。虽然与信号光相比，ASE 光的光功率电平低得多，  
5 但是 ASE 光会在很宽的波段上产生。因而，在使用常见的输出监测技术（其中对来自光放大器的输出光进行分路以由光接收器接收）执行诸如自动电平控制或自动增益控制的光放大器控制的情况下，由于在输出光中既包含信号光又包含作为噪声成分的 ASE 光的光功率，所以 ASE 光的影响会在输出的监测结果中得到反映，从而劣化了光放大器的控制精度。  
10 此外，设置在下游的光放大器的输入停机功能（检测到没有输入信号光功率的输入，从而关闭光放大器的泵浦光功率的功能）也被恶化。由于 ASE 光的生成量显著变化，特别是在信号波长的数目动态改变的系统中，所以由 ASE 光引起的这种问题变得较为严重。因而，作为与光放大器的操作控制相关的另一课题，考虑建立用于正确地监测由光放大器生  
15 成的 ASE 功率以及用于校正光放大器的控制目标值及其无输入检测阈值的技术（第二课题）。

此外，在光放大器中，问题在于，在高粒子数反转状态下，能量集中在具有较大增益系数的波长范围内，这导致了振荡动作，并因而增加了噪声成分而劣化了传输特性。这种光放大器的振荡现象包括与光放大  
20 介质的增益和光放大介质的输入侧和输出侧的反射衰减量之间的关系相对应的阈值，因此，由于一些因素（如光放大器的增益条件、光学部件中的反射衰减量的劣化）而出现如上所述的问题。具体地，例如在输入到光放大器的信号的数量变少的情况下，或在与光放大介质相连的光路上的光隔离器中的隔离量劣化的情况下，振荡动作（噪声成分的增加）  
25 变得显著。因而，作为与光放大器的操作控制相关的又一课题，考虑建立一种控制技术，其中在前面已知的大增益系数的波长范围中输出光水平不超过振荡阈值（第三课题）。

为实现 WDM 光通信性能和可靠性的改善，同时解决上述与光放大器的操作控制相关的第一到第三课题是重要的。具体地，对于第一论题，

需要能够高精度地监测 WDM 信号光功率的波长特性，并对于第二和第三论题，能够高精度地监测噪声光（如 ASE 光等）的功率。

如图 12 所示，例如作为常规光放大器中的光功率监测器的结构，有一种已知结构，其中，将光分路器 101 插入在传播 WDM 光的主信号系统光路中，并且将光谱分析仪（OSA）102 设置在光分路器 101 的分路端口中，从而光谱分析仪 102 监测的光谱的测量结果被传送到可变增益均衡器（VGEQ）103 等中，从而进行控制。另外，还有一种结构，在该结构中，取代了光谱分析仪 102，在光分路器 101 的分路端口上设置波长分离器件（例如光栅、滤光器等）和光接收器，从而，光接收器接收到被  
10 波长分离器件解复用的光，以监测其功率（日本特开 2001-168841 号公报）。

然而，在常规光功率监测器的结构中，需要对光放大器新添加光分路器 101 和昂贵的光谱分析仪 102 或波长分离器件等。因此，该光回路结构具有复杂和成本高的缺点。

另外，如图 12 的左下部所示例出的，每单位微小波长范围的光功率与信号光相比低很多的噪声光（如 ASE 光等）被光分路器 101 以与信号光相同的分路率分路。由于需要尽可能地抑制主信号光功率的降低，所以将光分路器 101 的分路率设置为使监测光侧的比率较低（例如，在主信号光侧为 95%到 99%，而监测光侧为 1%到 5%等）。因此，包含在监测光中的噪声光变得非常小，从而被光谱分析仪 102 接收的噪声光的水平较低。因此，还有一个问题是光敏感度很差，并很难以期望的精度监测  
20 噪声光功率。

作为解决如上所述的常规结构中的这些问题的一种方法，考虑例如通过试验、仿真等预先获得光放大器中产生的噪声光的功率的典型值，  
25 以利用所获得的典型值对光放大器进行控制。然而，依据这样的一种方法，由于噪声光的生成量是依据光放大介质的部件个体差异、环境（例如温度、湿度等）的变化、包含在 WDM 光中的信号光的波长数目等而动态改变的，所以很难精确评估光放大器中产生的噪声光的功率值。因此，不可能准确地校正实际监测的光输出功率中的噪声光成分。结果，

光放大器的控制精度变差，从而劣化了 WDM 光通信系统的性能和可靠性。

### 发明内容

5 鉴于上述问题实现了本发明。本发明的目的是低成本地提供一种光放大器以及一种光监测回路，其具有能够使用简单的回路结构高精度地检测在放大信号光时所产生的噪声光功率、信号光功率等的监测功能。

为实现上述目的，依据本发明的光放大器包括：光放大部，其放大信号光；光反射介质，其被设置在与光放大部相连接的光纤上，并能够  
10 反射在光放大部中产生的噪声光中的存在于信号波段之外的预定波长范围内的噪声光，以将反射的噪声光照射到光纤的纤芯之外；光接收部，其接收被所述光反射介质反射而照射到所述光纤的纤芯之外的噪声光，以检测噪声光的功率；以及计算部，其根据所述光接收部的检测结果计算在所述光放大部中产生的噪声光的总功率。

15 依据这种结构的光放大器，从所述光放大部中输出并通过所述光纤传播的光被提供给所述光反射介质。在所述光反射介质中，在所述光放大部中产生的宽波段内的噪声光中，存在于信号波段之外的预定波长范围内的噪声光被有选择地反射而照射到所述光纤的纤芯之外。照射到所述光纤的纤芯之外的噪声光被所述光接收部接收，在所述光接收部中，  
20 检测所述噪声光的功率，并将检测结果传送到所述计算部。在所述计算部，根据所述光接收部中的检测结果，计算所述光放大部中产生的噪声光的总功率。

此外，当上述光放大器在与所述光放大部相连的光纤上包括根据预先设置的透射波长特性透过信号光的滤光器件时，所述滤光器件具有光  
25 反射介质的功能。因而，可以使用现存的滤光器件来监测噪声光的功率，而无需单独增加用于噪声监测的器件。

此外，作为上述光放大器的一个方面，配置可以是这样的：光放大部，其放大包含多个不同波长的信号光的波分复用光；增益均衡滤光器，用作滤光器件，其具有能够使光放大部在波分复用光的信号波段中的增

益波长特性平坦化的透射波长特性，还具有能够反射存在于所述信号波段之外的预定波长范围内的噪声光以将所反射的噪声光照射到所述光纤的纤芯之外的反射特性。依据这种结构，使用一般光放大器中的增益均衡滤光器来监测噪声光。

- 5       另外，可以为上述光放大器提供控制部，其根据在所述计算部中计算的噪声光总功率来校正包含在来自所述光放大部的光输出功率中的噪声光功率，以计算只有信号光成分的光输出功率，从而依据计算结果控制所述光放大部。依据这种结构，可以控制光放大器而基本不受噪声光的影响。
- 10       依据本发明的光监测回路包括：光反射介质，其被设置在传播不同波长的多个光的光纤上，其包括衍射光栅，其中光栅平面的法线方向相对于光纤的轴向倾斜，并且将其反射特征设计为使得：在通过所述光纤传播的光中，对于第一波段的光的反射率与对于不同于第一波段的第二波段的光的反射率彼此不同，并能够将反射的光照射到所述光纤的纤
- 15       芯之外；第一接收部，其接收被所述光反射介质反射而照射到所述光纤的纤芯之外的所述第一波段的光，以检测所述照射光的功率；以及第二光接收部，其接收被所述光反射介质反射而照射到所述光纤的纤芯之外的所述第二波段的光，以检测所述照射的光的功率。此外，可以将光监测回路配置为使得通过光纤传播的光包含第一波段内的信号光，并且只
- 20       有噪声光存在于第二波长波段中，并且在光反射介质中，将衍射光栅的反射特性设计为使得对于第二波段中的噪声光的反射率高于对于第一波长的光的反射率。

依据这种光监测回路，即使第一波段中的光的功率和第二波段中的光的功率彼此显著不同时，如信号光功率和噪声光功率的情况，通过以

25       高反射率有选择地反射低功率波段中的光，也可以高精度地监测这种光的功率。

在下面结合附图的对实施例的说明中，本发明的其它目的，特征和优点将变得明显。

### 附图说明

图 1 是示出了依据本发明第一实施例的光放大器的结构的方框图；

图 2 示出了从第一实施例中的光放大回路输出的光的波长特性的一个示例；

5 图 3 示出了第一实施例中使用的该光反射介质的传输波长特性的一个示例；

图 4 是示出了依据本发明第二实施例的光放大器的结构的方框图；

图 5 示出了第二实施例中使用的 GEQ 的透射波长特性的一个示例；

10 图 6 示出了第二实施例中使用的该 GEQ 的反射波长特性的一个示例；

图 7 用于解释倾斜 FBG 中的反射光的照射角和光栅平面的倾斜角和；

图 8 用于解释在倾斜啁啾 (chirp) FBG 中的反射光的会聚位置；

图 9 示出了在第二实施例中的输出光的波长特性；

15 图 10 是示出了依据本发明第三实施例的光放大器的结构的方框图；

图 11 是示出了采用了本发明的光监测回路的一个示例的方框图；

图 12 示出了在常规光放大器中的光功率监测器的结构示例。

### 具体实施方式

20 现在参照附图描述用于实现本发明的实施例。在所有的附图中，相同的标号指示相同或相当的部分。

图 1 是示出了依据本发明第一实施例的光放大器的结构的示意图。

25 在图 1 中，第一实施例的光放大器包括：例如，光放大回路 1，作为放大输入信号光  $L_{IN}$  的光放大部；光反射介质 2，形成在与光放大回路 1 相连的光纤 F 上；光接收器 3，作为光接收部，接收被光反射介质 2 反射而照射到光纤 F 的纤芯之外的光，以检测所照射光的功率；以及计算电路 4，作为计算部，根据光接收器 3 中的检测结果，计算在光放大电路 1 中产生的噪声光的总功率。另外，该光放大器包括：光分路器 5，其分路从光放大回路 1 输出的、要通过光纤 F 传播的部分光；光接收器 6，其

接收被光分路器 5 分路的光,以检测被分路的光的功率;以及控制电路 7,其依据来自计算电路 4 和光接收器 6 的输出信号控制光放大回路 1。

使用公知光放大器(例如掺稀土元素的光纤放大器、拉曼放大器、半导体光放大器等)来配置光放大回路 1,该光放大回路 1 将通过光纤 F 5 输入的信号光  $L_{IN}$  放大到需要的水平,以将被放大的光输出到光纤 F。在该光放大回路 1 中,当输入信号光  $L_{IN}$  被放大时,产生了噪声光,如放大自发辐射(ASE)光等。因此,例如如图 2 所示,包含放大的信号光  $L_S$  和噪声光  $L_N$  的输出光  $L_I$  被从光放大回路 1 输出到光纤 F。应注意,在所 10 示出的一个示例中,包含多个不同波长的信号光的 WDM 光在光放大回路 1 中被放大。然而,本发明也可以用于在光放大回路 1 中放大单波长信号光的情况。

光反射介质 2 具有这样的结构,其能够依据预定的反射率,反射光放大回路 1 中产生的噪声光  $L_N$ (如 ASE 光等)中的存在于信号波段  $\Delta\lambda_S$  之外的预定波长范围  $\Delta\lambda_N$  内的噪声光(参见图 2),将反射的光照射到光 15 纤 F 的纤芯之外,而传输波长范围  $\Delta\lambda_N$  之外的光。图 3 示出了光反射介质 2 的传输波长特性的一个示例。光反射介质 2 的具体示例有光纤光栅、光子晶体、介电体多层膜(induced multi-layer)、马赫-曾德(Mach-Zehnder)型设备等。应注意,将在随后描述的另一实施例中详细描述光反射介质 2 的优选结构示例。

20 光接收器 3 被设置在可以接收被光反射介质 2 反射而照射到光纤 F 的纤芯之外的噪声光  $L_R$  的位置,并且该光接收器 3 向计算电路 4 输出电平依据噪声光  $L_R$  的功率而变化的电信号。

计算电路 4 根据由光接收器 3 的输出信号表示的噪声光  $L_R$  的功率和光反射介质 2 对波长范围  $\Delta\lambda_N$  的反射率,计算在光放大回路 1 中在宽波段 25 上产生的噪声光  $L_N$  的总功率,以向控制电路 7 输出表示计算结果的信号。上述计算处理通过例如参照一个表来进行,在该表中,通过试验、仿真等预先获得了被光接收器 3 监测的波长范围  $\Delta\lambda_N$  内的噪声光功率与在光放大回路 1 中产生的噪声光  $L_N$  的总功率之间的关系。此外,为使该表非常可靠,期望在设置波长范围  $\Delta\lambda_N$  时选择光放大回路 1 中的高增益系数波

段。作为特定的示例，在掺铒光纤放大器（EDFA）被用于光放大回路 1，并且信号波段 $\Delta\lambda_S$ 为 C 波段（1.55 $\mu\text{m}$  波段）的情况下，优选地选择 1.53 $\mu\text{m}$  波段附近作为波长范围 $\Delta\lambda_N$ 。另外，在信号波段 $\Delta\lambda_S$ 为 L 波段（1.58 $\mu\text{m}$  波段）的情况下，优选地选择 1.57 $\mu\text{m}$  波段附近作为波长范围 $\Delta\lambda_N$ 。

- 5 此处，光分路器 5 被设置在例如光反射介质 2 的后一段上的光纤 F 上，并依据预先设置的分路比率将透射过光反射介质 2 的光  $L_T$  分路为两个，以将一个分路光输出到光放大器之外，作为输出光  $L_{OUT}$ ，同时将另一分路光输出到光接收器 6 作为监测光  $L_M$ 。在该光分路器 5 以及图 12 所示的常规结构的光分路器 101 中，将监测光一侧的比率设置得较低，
- 10 以抑制主信号光功率的降低。被光分路器 5 分路出的监测光  $L_M$  包含以相同的分路比率分路的信号光  $L_S'$  和噪声光  $L_N'$ 。

光接收器 6 接收来自光分路器 5 的监测光  $L_M$ ，以向控制电路 7 输出电平依据监测光  $L_M$  的功率而变化的电信号。

- 控制电路 7 接收来自光接收器 6 的输出信号以获得输出光  $L_{OUT}$  的总
- 15 功率，并随后使用由来自计算电路 4 的输出信号所表示的噪声光  $L_N$  的总功率执行噪声成分的校正，以计算仅信号光的输出功率，从而依据计算结果控制光放大回路 1 的操作。

- 在上述结构的光放大器中，除了由一般的光放大器中提供的光分路器 5 和光接收器 6 所监测的总输出功率（信号光+噪声光）外，光放大
- 20 回路 1 中产生的噪声光  $L_N$  的总功率也被光反射介质 2、光接收器 3 和计算电路 4 所监测。因此，通过使用噪声光  $L_N$  的总功率来校正总输出光功率，可以高精度地监测仅信号光的输出功率。因此，通过使用仅信号光的输出功率执行对光放大回路 1 的控制（例如，自动电平控制、自动增益控制等），可以高精度稳定地执行信号光的放大。

- 25 另外，由于形成在光纤 F 上的、用于监测噪声光  $L_N$  的总功率的光反射介质 2 用于增大信号波段之外的反射率，所以光放大器的主要性能（例如增益、噪声指数（NF）等）没有劣化。因而，可以依据光接收器 3 的光敏度任意设置光反射介质 2 中的波长范围 $\Delta\lambda_N$ 中的噪声光的反射量。具体地，可以将光反射介质 2 的反射率设置为使得将光反射介质 2 所反射的

噪声光的功率会聚到在光接收器 3 中可以获得良好的光敏度的光接收水平范围中（例如，-30 到 0dBm/ch）。因而，通过添加简单的光回路结构，可以低成本地解决常规技术中因在光分路器中以与信号光相同的分路比率分路噪声光而不能以足够精度监测噪声光功率的问题。

- 5 此外，在使用多个本实施例的光放大器而配置的光通信系统中，可以将设置在上游的光放大器的计算电路 4 所计算的噪声光  $L_N$  的总功率传送到设置在下游的光放大器，以在下游侧光放大器中执行无信号光输入检测中的噪声光校正。具体地，在下游侧光放大器中，例如，可以从总输出光功率中减去上游侧光放大器发送的噪声光  $L_N$  的总功率，以计算仅
- 10 信号光的光功率，并根据计算结果检测信号光输入的停止。因此，在下游侧光放大器中可靠地执行了输入停机控制，而基本不受上游侧光放大器中产生的噪声光的影响。

- 另外，也可以使用光接收器 3 所监测的波长范围  $\Delta\lambda_N$  中的噪声光功率来执行控制以避免光放大器的振荡动作。也就是，如果波长范围  $\Delta\lambda_N$
- 15 被设置在光放大回路 1 的增益系数的峰值波长附近，则可以通过监测波长范围  $\Delta\lambda_N$  中的噪声光功率以控制光放大回路 1 的放大操作，使得监测值不超过预先设置的振荡阈值，从而防止产生振荡现象。

下面，说明本发明的第二实施例。

- 图 4 是示出了在第二实施例中的光放大器的结构的方框图。在第二
- 20 实施例中的光放大器的特征是：对 WDM 光进行一起放大的已知光放大器中通常所提供的增益均衡滤光器（GEQ）8 还包括上述第一实施例中的光反射介质 2 的功能。

- GEQ 8 是组合了倾斜结构和啁啾（chirp）结构的光纤光栅（下文称为倾斜啁啾 FBG）。在倾斜结构中，所形成的布拉格衍射光栅（Bragg
- 25 diffraction grating）相对于光纤 F 的轴向倾斜。在啁啾结构中，布拉格衍射光栅的光栅间距沿光纤 F 的轴向逐渐变化。将该倾斜啁啾 FBG 设计为具有特定的透射波长特性，即，能够平坦光放大回路 1 对信号波带  $\Delta\lambda_S$  的增益波长特性，并具有能够反射存在于信号波段外的波长范围  $\Delta\lambda_N$  内的噪声光  $L_N$  以将所反射的噪声光照射到光纤 F 的纤芯之外的特性。注意，

在倾斜啁啾 FBG 中，信号波段 $\Delta\lambda_s$ 中的一部分光信号也被照射到光纤 F 的纤芯之外。

图 5 和图 6 分别示出了使用倾斜啁啾 FBG 的 GEQ 8 的透射波长特性的一个示例和反射波长特性的一个示例。如各图所示，将信号波段 $\Delta\lambda_s$ 中的光的透射性设计为具有与光放大回路 1 的增益波长特性（参见图 2）相反的波长相关性，并且被照射到光纤 F 的纤芯之外的信号波段 $\Delta\lambda_s$ 中的光的反射量依据信号波段 $\Delta\lambda_s$ 的透射波长特性而改变。另外，信号波段外的波长范围 $\Delta\lambda_N$ 的反射率被设计为高于信号波段 $\Delta\lambda_s$ 的平均反射率，从而即使噪声光的每单位微小波长范围的光功率明显低于信号光的，也可以由光接收器 3 可靠地监测该噪声光。

光接收器  $3_N$  用于接收被 GEQ 8 反射而照射到光纤 F 的纤芯之外的波长范围 $\Delta\lambda_N$ 中的噪声光  $L_{RN}$ ，以测量噪声光  $L_{RN}$  的功率，并被设置在对应于噪声光  $L_{RN}$  的焦点的位置。另外，光接收器  $3_1$  到  $3_M$  用于接收被 GEQ 8 反射而照射到光纤 F 的纤芯之外的对应于各信号光波长的光  $L_{R1}$  到  $L_{RM}$ ，以测量各个光  $L_{R1}$  到  $L_{RM}$  的功率，并设置在对应于各个光  $L_{R1}$  到  $L_{RM}$  的焦点的位置。应注意，在图 6 中的细线所示的各个波段概念性地表示了各光接收器  $3_N$  和  $3_1$  到  $3_M$  的光接收范围。

计算电路 4 以与上述第一实施例相同的方式，根据接收器  $3_N$  所测量的波长范围  $\Delta\lambda_N$  中的噪声光  $L_{RN}$  的功率和 GEQ 8 的反射特性，计算在光放大回路 1 中产生的噪声光  $L_N$  的总功率。另外，计算电路 4 获得了从当前光放大器输出的输出光  $L_{OUT}$  的波长特性，并进一步根据与光接收器  $3_1$  到  $3_M$  所测量的各信号光波长对应的各光  $L_R$  到  $L_{RM}$  的功率和 GEQ 8 的反射特性计算总输出功率（信号光+噪声光）。计算电路 4 的计算结果被传送到控制电路 7。在控制电路 7 中，以与第一实施例相同的方式，使用噪声光  $L_N$  的总功率校正总输出功率以获得仅信号光的输出功率，从而实现光放大器 1 的控制。

下面，详细说明应用于 GEQ 8 的倾斜啁啾 FBG。

首先，通常，将光纤光栅配置为，利用通过光纤纤芯的紫外光诱发而引起的折射率变化在光纤上形成布拉格衍射光栅，并且光纤光栅用作

仅反射（或切断）布拉格波长的光的反射滤光器。另外，在光纤光栅中，通过在光纤的纵向上形成几万层的光栅，可以实现陡峭的光谱特性，即，对于波长的反射率（或透射率）突然改变。

具体地，使用针对光纤传播模的实际折射率  $n$  和光栅间距（光栅栅距） $P$ ，用下面的公式(1)表示光纤光栅的布拉格反射波长 $\lambda_{\beta}$ 。

$$\lambda_{\beta} = 2np \quad \dots\dots(1)$$

另外，使用光栅长度  $L$  和折射率调制的振幅 $\Delta n$ ，由公式(2)表示反射谱的带宽 $\Delta\lambda_{\beta}$ 。

$$\Delta\lambda_{\beta} = \{\lambda_{\beta}^2 / (\pi n L)\} \times \{\pi^2 + (\pi \Delta n L / \lambda_{\beta})^2\}^{1/2} \quad \dots\dots(2)$$

此外，使用包含在纤芯区中的传播光能的比率 $\gamma$ ，由公式(3)表示光栅反射率  $R_B$ 。

$$R_B = \tanh^2(\pi L \Delta n \gamma / \lambda_{\beta}) \quad \dots\dots(3)$$

另外，在光纤光栅中，不仅可以特定波长的光反射到入射方向上，而且可以通过制备与光纤的轴向相倾斜的光栅，将所反射的光照射到包层区，并且耦合到反向包层模的光被照射到光纤之外。因而，已经报道了将光纤光栅应用于光谱监测器、增益均衡器等的应用示例（参见文献 1：

“Planar Waveguide Optical Spectrum Analyzer Using a UV-Induced Grating” by C. K. Madsen et al., IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, Vol 4, No. 6, November/December 1998, 925-929; 文献 2：“Fiber Grating Optical Spectrum Analyzer Tap” by Jefferson L. Wagener et al., ECOC, 1997, 65-68, postdeadline paper V 5, 以及文献 3：“Recent Progress in Optical Fiber Bragg Gratings” by Tetsuro Komukai et al., Technical Report of IEICE OPE95-114 (1995-12))

在这种倾斜 FBG 的真空中反射波长 $\lambda_{\beta}'$ 被移到较短波长侧，移动距离为：包层模有效折射率与上面公式(1)中表示的布拉格反射波长 $\lambda_{\beta}$ （在光栅方向垂直于光纤轴向的情况下）相比较的差值，因此，使用纤芯的有效折射率  $n_{\text{core}}$  和光纤的包层的有效折射率  $n_{\text{clad}}$ ，由下面的公式(4)表示。

$$\lambda_{\beta}' = P(2n_{\text{core}} - n_{\text{clad}}) \quad \dots\dots(4)$$

另外，已知倾斜 FBG 的反射波长 $\lambda_{\beta}'$ 与图 7 所示的反射光照射角 $\theta_0$

和光栅平面倾斜角 $\theta_T$  之间的关系由下面的公式(5)表示（参见上述的文献1）。

$$\lambda_B' = \lambda_B(1 + \cos\theta_0)/2\cos\theta_T \quad \dots\dots(5)$$

依据公式(4)与公式(5)之间的关系，应该理解反射光的照射角 $\theta_0$ 是根据反射波长 $\lambda_B'$ 和光栅栅距 P 决定的。在反射波长 $\lambda_B'$ 固定的情况下，当光栅栅距长时，照射角 $\theta_0$  的值大。

此外，已知光栅栅距 P 相对于光纤的纵向逐渐改变，以使倾斜型 FGB 具有啁啾结构，从而对于各波长，将反射光会聚在不同的位置（参照 US 专利 5,061,032）。即，在倾斜啁啾 FBG 中，通过执行适当的啁啾设计，期望波长的反射光可以会聚在沿光纤纵向的预定位置上。因此，在本实施例的 GEQ 8 中，通过利用倾斜啁啾 FBG 的上述特征，与波长范围 $\Delta\lambda_N$  中的噪声光和各个信号光波长对应的光被会聚在光纤 F 的纤芯之外的不同位置上。

如图 8 所示，在形成有倾斜啁啾 FBG 的光纤的纵向为 Z 轴的情况下，假设位置 z 处的光栅栅距为 P(z)，则已知，在倾斜啁啾 FBG 的真空中的反射波长 $\lambda_B(z)$ 由公式(6)表示（参见上述文献 1）。

$$\lambda_B(z) = n\{P(z)/\cos\theta_T\}(1 + \cos\theta_0) \quad \dots\dots(6)$$

此外，假如倾斜啁啾 FBG 的啁啾量（相对光纤纵向的每单位长度的光栅栅距的改变量）为 c(z)，并且来自倾斜啁啾 FBG 的中心位置  $Z_0$  的反射光的波长为 $\lambda_{B0}$ ，则上述反射波长 $\lambda_B(z)$ 可以由下面的公式(6)'表示。

$$\lambda_B(z) = \lambda_{B0} + c(z)(z - z_0) \quad \dots\dots(6)'$$

会聚位置  $x_0$  和 X 轴方向（垂直于光纤纵向的方向）上的反射波长 $\lambda_B(z)$  的光的焦距 f 可以由下面的公式(7)和公式(8)表示。

$$x_0 = \{z \cdot \tan[\theta_0(z)]\} |_{z=z_0} \quad \dots\dots(7)$$

$$f = z_0 / \cos\theta_0 \quad \dots\dots(8)$$

通过如上所述设计倾斜啁啾 FBG 的参数（光栅栅距 P(z)、有效折射率 n、折射率调制量 $\Delta n$ 、光栅平面的倾斜角 $\theta_T$ 、啁啾量 c(z)等），可以形成光解复用系统，用于将信号波段外的波长范围 $\Delta\lambda_N$  中的噪声光和对应于各信号光波长的光反射到光纤 F 的纤芯之外，同时提供 GEQ 的功能（能

够使信号波段 $\Delta\lambda_s$ 中的光放大回路的增益波长特性平坦的透射波长特性)。

具体地,为实现所期望的信号波段 $\Delta\lambda_s$ 中的透射波长特性,可以调节折射率调制量 $\Delta n$ ,从而实现对各波长的透射率的最优化(参见文献 4: 5 “Gain Equalizer Using Slanted Fiber Bragg Gratings” by A. Niwa et al., Fujikura Technical Report, October 2002)。

随后,为防止 GEQ 本来的增益均衡功能被劣化,使用折射率调制量 $\Delta n$ 之外的设计参数来使倾斜啁啾 FBG 所反射的光的波长 $\lambda_B(z)$ 、反射光的照射角 $\theta_0$ 和焦距 $f$ 最优化,从而,依据期望波段中的反射光的会聚位置 10 确定各个光接收器 $3_N$ 、 $3_1$ 到 $3_M$ 的设置。

作为以上述方式设计的倾斜啁啾 FBG 的制造方法,优选地控制 FBG 纵向上各位置的紫外光的照射时间和光量,从而改变对于各波长的光的反射率(透射率)。例如,在反射率变高的情况下,在 FBG 的纵向上的反射目标波段的光的预定位置处,增大形成 FBG 时的紫外光照射时间和紫 15 外线光量,从而增大折射率调制量 $\Delta n$ 。

已知在倾斜啁啾 FBG 中的反射光的焦距 $f$ 是根据有效折射率 $n$ 、啁啾量 $c(z)$ 、光栅平面的倾斜角 $\theta_T$ 和折射率调制量 $\Delta n$ 而改变的(参见上述文献 2)。缩短焦距 $f$ 相当于在倾斜啁啾 FBG 附近设置光接收器同时维持高波长分辨率,因此,可有效地提高监测精度、使光放大器小型化。同 20 时,在焦距 $f$ 变短的情况下,为了防止 GEQ 本来的增益均衡功能劣化,优选地使用折射率调制量 $\Delta n$ 之外的设计参数。优选地选择更大的啁啾量 $c(z)$ ,从而使得能够缩短焦距 $f$ 而基本不影响 GEQ 的功能。例如,在需要大约 18cm 的焦距以获得 0.1nm 的波长分辨率的情况下,通过计算得知:通过将啁啾量从 547nm/cm 减小到 273nm/cm,焦距可以减少到 18cm 的 25 一半 9cm。注意,这个示例并不意味着为缩短焦距而选择的设计参数仅限于啁啾量 $c(z)$ 。

在上述示例中,基本的考虑是与反射光的焦距对应地设置光接收器。然而,与上述相反,也可以设计为使得光接收器设置在短于焦距的位置,以使监测器的波长分辨率在可容许范围内变得较低,从而获得小型化的

- 光放大器，并通过减少光接收器的数目降低成本。具体地，使光接收器比由倾斜啁啾 FBG 的设计参数确定的各波长反射光的焦距  $f$  更靠近可以获得期望的波长分辨率的位置，以大胆地使波长分辨率变低，从而获得小型化的光放大器，并减少光接收器的数目。因而，可以根据所需的光放大器的性能，任意设计监测器的波长分辨率以及光接收器的布局与数目。此外，作为简化光接收部装配的应用示例，如下方法也是有效的：将该布局确定为使得对应于各波段的多个光接收器排列成直线，以使用所排列的光接收器（PD 阵列）。通过采用这样的结构，可以实现成本更低、结构更简单的光放大器。
- 10 根据使用倾斜啁啾 FBG 来进行 GEQ 8 设计的第二实施例，可以使用在一般的 WDM 光放大器中提供的 GEQ 来实现简单光回路结构的监测系统，而无需在传播主信号光的光纤 F 上插入监测用光分路器等。因此，可以高精度地监测光放大回路 1 中产生的噪声光  $L_N$  的总功率，并且还可以监测与各信号光波长对应的光的输出功率的波长特性。通过使用这些
- 15 监测结果来控制光放大回路 1，可以稳定地获得具有平坦波长特性的光输出  $L_{OUT}$ ，其中例如如图 9 所示，各波长的信号光功率在期望的水平上是一致的。另外，由于使用上述 GEQ 的监测系统基本等同于其中在一般 GEQ 中的信号波段之外增加了反射特性的监测系统，因此 GEQ 本来的增益均衡功能不会劣化。另外，由于 GEQ 8 对于信号波段之外的波长范围
- 20  $\Delta\lambda_N$  的反射率不取决于信号波段  $\Delta\lambda_S$  中的反射率，并因此可以依据光接收器  $3_N$  的性能等随意设置，所以与使用常规光分路器的监测系统相比，可以接收大功率的噪声光以高精度地监测该噪声光。另外，监测器的波长分辨率可以依据对于 GEQ 8 的各个光接收器  $3_N$  和  $3_1$  到  $3_M$  的布局而改变，因此，可以灵活地实现满足所需性能的监测功能。
- 25 在第二实施例以及第一实施例中的光放大器中，确实可以将上游侧光放大器所监测的噪声光  $L_N$  的总功率传输到下游侧光放大器，以在下游侧光放大器中的无信号光输入检测中进行噪声光校正，并且还可以利用光接收器所监测的噪声光功率进行控制，以避免光放大器的振荡动作。

注意，在第二实施例中，对使用倾斜啁啾 FBG 构成 GEQ 8 的情况

进行了说明。然而，本发明不限于此，可以使用在文献 5：“Optical devices with wavelength-selectivity using multi-dimensional periodic structure” by Osamu Hanaizumi et al., For limit utilization of wavelength integration · operating photonics-optical spectrum resource –symposium 5 2003, lecture p.85 to 88, January 21 to 22, 2004 中公开的光子晶体来取代 FBG 形成倾斜啁啾衍射光栅。

另外，在第二实施例中，在一般 WDM 光放大器中的 GEQ 中添加了光反射介质的功能，以监测噪声光功率等。然而，在例如放大单波长信号光的光放大器中，对于取代 GEQ 而设置的用于滤除噪声光的滤光器，10 可以采用倾斜 FBG，从而增加光反射介质的功能。

此外，在第二实施例中，共用的 GEQ 8 监测在信号波段之外的预定波长范围 $\Delta\lambda_N$ 中存在的噪声光，同时监测与各信号光波长对应的输出光的波长特性。然而，即使在将省略了噪声光监测功能的倾斜啁啾 FBG 应用于一般的 GEQ 的情况下，本发明也是有效的。在这种情况下，与使用常15 规光分路器等的输出光监测系统相比，可以利用简单的光回路结构监测输出光的波长特性。

另外，在第二实施例中，在所示出的构造示例中，被 GEQ 8 反射而照射到光纤 F 的纤芯之外的光被各个光接收器  $3_N$  和  $3_1$  到  $3_M$  直接接收。然而，构造也可以是这样的：将透镜介质（作为具体的示例，可以是球20 透镜、非球面透镜、柱面透镜或棱镜，或这些透镜的组合等）设置在 GEQ 8 和各光接收器  $3_N$  和  $3_1$  到  $3_M$  之间，以提高到达各个光接收器  $3_N$  和  $3_1$  到  $3_M$  的反射光的会聚性质。另外，如果监测器的波长分辨率在允许的范围内，则即使在将各个光接收器设置在更靠近形成 GEQ 8 的光纤 F 的包层的外表面的情况下，也可以抑制反射光的衰减。

25 下面说明本发明的第三实施例。

图 10 是示出了第三实施例中的光放大器的结构的方框图。

在图 10 中，第三实施例的光放大器是如下情况的特定示例：将本发明应用于级联连接的分布式拉曼放大器（DRA）100 和掺铒光纤放大器（EDFA）200 的结构。

前一级的 DRA 100 将泵浦光源 (LD) 110 中产生的拉曼放大泵浦光  $L_{P1}$  通过光复用器 111 提供给输入侧传输路径 (光放大介质), 以利用拉曼效应放大通过传输路径传播的信号光。伴随着传输路径中的信号光的拉曼放大, 产生了噪声光, 该噪声光与拉曼放大的信号光一起通过光复用器 111, 以输入到 DRA 增益均衡器 (GEQ) 120。应注意, 此处, 在所示的分布式拉曼放大器的一个示例中, 传输路径是光放大介质。然而, 本发明不限于此, 也可以使用 DCFRA 等, 其中, 例如色散补偿光纤 (DCF) 等用作光放大介质, 并且泵浦光被注入 DCF 以对信号光进行拉曼放大。

与上述第二实施例中的 GEQ 8 一样, DRA GEQ 120 除具有平坦传输路径中的拉曼放大的增益波长特性的功能之外, 还具有反射在信号波带之外的预定波长范围内存在的噪声光 and 对应于各信号波长的光以将该反射光照射到光纤 F 的纤芯之外的功能。被 DRA GEQ 120 反射而照射到光纤 F 的纤芯之外的各波长的光被光接收器 (PD) 130 接收, 并在该处测量其功率。在计算电路 140 中, 根据该测量结果计算因拉曼放大产生的噪声光的总功率和各波长的拉曼放大信号光的输出功率的波长特性。计算电路 140 中的计算结果被传送到控制泵浦光源 110 的 DRA 控制电路 170, 并传送到后一级的 EDFA 控制电路 270。此外, 通过 DRA GEQ 120 而输入到后一级的 EDFA 200 的一部分光被光分路器 150 分路为监测光  $L_{M1}$ , 并由光接收器 (PD) 160 测量该监测光  $L_{M1}$  的功率。将光接收器 160 的测量结果传送到 DRA 控制电路 170 以及 EDFA 控制电路 270。

EDFA 200 为两级配置, 包括: 前一级的 EDF 212 以及后一级的 EDF 217。泵浦光源 (LD) 210 产生的泵浦光  $L_{P2}$  通过光复用器 211 提供给 EDF 212; 泵浦光源 (LD) 215 中产生的泵浦光  $L_{P3}$  通过光复用器 216 提供给 EDF 217。并在 EDF 212 和 EDF 217 之间提供了可变光衰减器 (VOA) 280, 用于控制输出水平。并且在光放大器 216 的后一级上的光纤 F 上设置了 EDFA GEQ 220 和光纤分路器 250。与上述第二实施例中的 GEQ 8 一样, EDFA GEQ 220 除具有平坦 EDF 212 和 EDF 217 的整体的增益波长特性的功能之外, 还具有反射信号波段之外的预定波长范围内存在的噪声光以及与各信号光波长对应的光的功能, 以将反射的光照射到光纤 F

的纤芯之外。被 EDFA GEQ 220 反射而照射到光纤 F 的纤芯之外的各个波长的光被光接收器 (PD) 230 接收, 并在该处测量其功率。在计算电路 240 中计算在 EDF 212 和 EDF 217 处产生的各噪声光的总功率, 以及在 EDF 212 和 EDF 217 中放大的各波长信号光的输出功率的波长特性。

5 将计算电路 240 中的计算结果传送到 EDFA 控制电路 270。另外, 通过 EDFA GEQ 220 传送的一部分光被光分路器 250 分路为监测光  $L_{M2}$ , 并且由光接收器 (PD) 260 测量该监测光  $L_{M2}$  的功率。将光接收器 260 中的测量结果传送到 EDFA 控制电路 270 中。EDFA 控制电路 270 根据来自计算电路 240、光接收器 160 和 260 的输出信号, 控制各泵浦光源 210 和

10 215 以及可变光衰减器 280。注意, 图中的系统监视控制电路 300 用于将与本光放大器放大的 WDM 光中包含的信号光的波长的数目、分配等相关的信号光信息提供给 DRA 100 和 EDFA 200 中的各个计算电路 140 和 240。例如, 在各计算电路 140 和 240 中执行噪声光校正时, 参照来自系统监视控制电路 300 的信号光信息, 从而避免由于应用了本光放大器的

15 光通信系统的操作情况 (信号数、信号波段等) 的改变而劣化监测精度。

在本实施例的具有上述配置的光放大器中, 在 DRA 控制电路 170 中, 依据由 DRA GEQ 120、光接收器 130 和计算电路 140 监测的信号波段中的 DRA 输出功率的波长特性, 控制拉曼放大泵浦光  $L_{p1}$  的供应状态 (例如, 在将多个波长的泵浦光提供到发射路径的情况下, 各波长的泵浦光功率的比率等), 从而使 DRA 的增益波长特性最优化。结果, 通过

20 根据光分路器 150 和光接收器 160 的监测值来调节拉曼放大泵浦光  $L_{p1}$  的电源等, 将所改变的 DRA 输出的总功率控制到期望的水平。此外, 将在计算电路 140 中获得的与因拉曼放大而产生的噪声光的总功率相关的信息从计算电路 140 传送到 EDFA 控制电路 270。

25 在后一级的 EDFA 200 中, 将 EDFA GEQ 220、光接收器 230 和计算电路 240 中所监测的在 EDF 212 和 EDF 217 中产生的噪声光的总功率以及信号波段中的输出功率的波长特性传送到 EDFA 控制电路 270, 并且将在光分路器 250 和光接收器 260 中的所监测的输出光  $L_{OUT}$  的总功率传送到 EDFA 控制电路 270。随后, 在 EDFA 控制电路 270 中, 对添加了 EDF

212 和 EDF 217 中产生的噪声光以及前一级的 DRA 100 中产生的噪声光的输出光  $L_{OUT}$  进行噪声光校正, 并根据校正结果调节泵浦光  $L_{P2}$  和  $L_{P3}$  的供应状态, 从而控制 EDFA 的增益波长特性, 并调节 VOA 280 的衰减量从而控制输出水平。此外, 在 EDFA 控制电路 270 中, 使用从 DRA 100 5 的计算电路 140 传送的噪声光的总功率, 从而对无输入检测阈值进行噪声光校正。在光接收器 160 的监测值小于阈值的情况下, 检测到信号光输入停止, 从而执行泵浦光源 210、215 等的停机控制, 此外, 在 EDFA 200 具有大增益系数的情况下, 在 EDFA GEQ 220、光接收器 230 和计算电路 240 中监测增益峰值附近的波长范围内的噪声光功率, 以控制各泵浦光 10  $L_{P2}$  和  $L_{P3}$  的功率, 使得监测值不超过一预先设置了基准的振荡阈值, 从而避免了 EDFA 200 的振荡动作。

依据如上所述的第三实施例中的光放大器, 可以利用简单的光回路结构高精度地监测 DRA 100 和 EDFA 200 中所产生的噪声光以及各 DRA 100 和 EDFA 200 的输出功率的波长特性。因此, 通过根据监测结果对 15 DRA 100 和 EDFA 200 进行各种控制, 可以稳定地获得控制到希望输出水平的具有平坦波长特性的信号光输出, 并可以不受噪声光影响而可靠地执行停机控制。

应注意, 在第三实施例中, 在所示构造示例中, DRA 100 和 EDFA 200 级联连接。然而, 依据本发明的光放大器的结构并不限于上述示例, 可以 20 将本发明的监测技术应用于具有公知结构的光放大器。

另外, 在第一到第三实施例中, 结构是这样的: 在光放大器内部设置了光反射介质或增加了光反射介质功能的 GEQ 等的滤光器。然而, 本发明不限于此, 如图 11 所示, 例如, 结构可以是这样的: 在连接在上游光放大器 A1 和下游光放大器 A2 之间的传输路径上设置光反射介质 2, 25 并且在光反射介质 2 附近设置光接收器 3 和计算电路 4, 从而构成一光监测回路, 由此监测在上游光放大器 A1 中产生的噪声光  $L_N$  的功率、信号光输出的波长特性等。在这种光监测回路中, 可以获得与上述各实施例的光监测回路相同的效果。

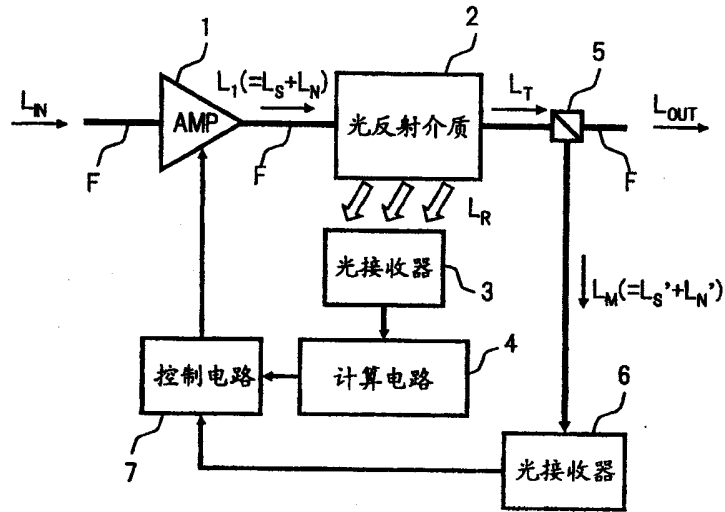


图 1

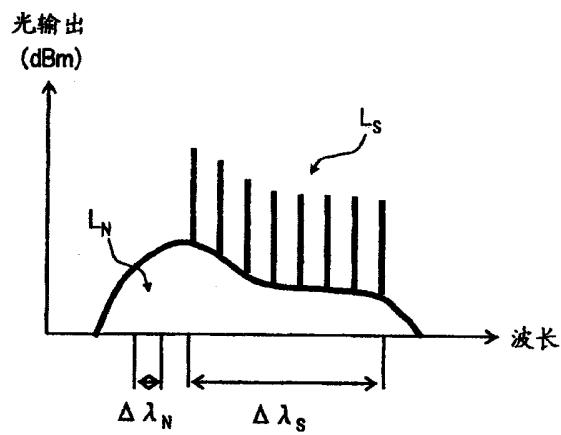


图 2

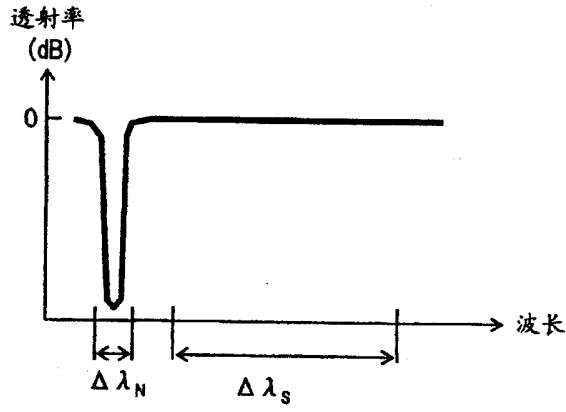


图 3

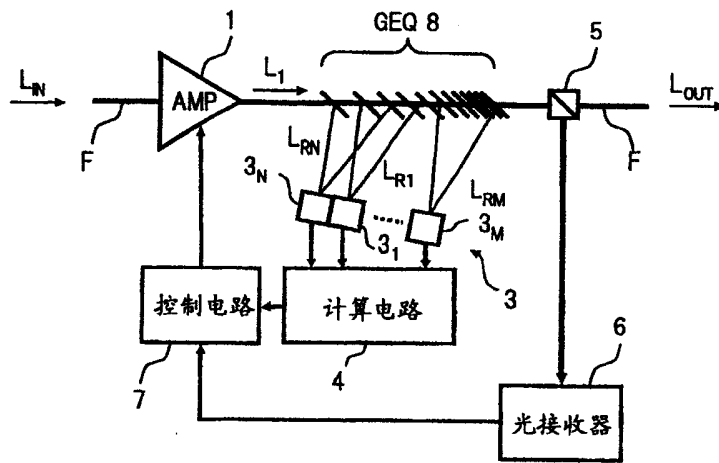


图 4

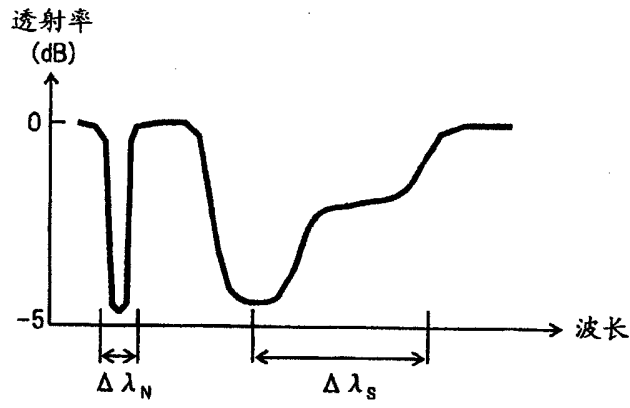


图 5

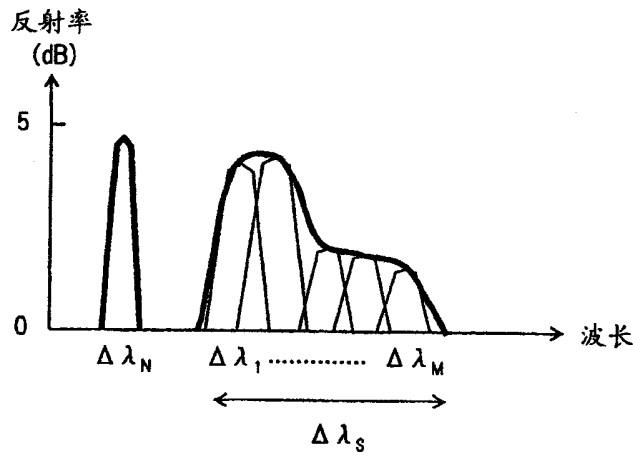


图 6

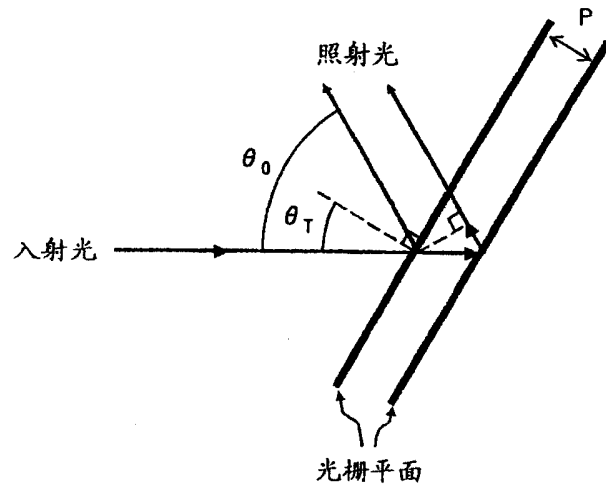


图 7

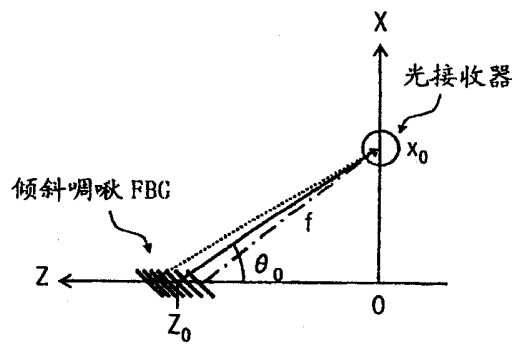


图 8

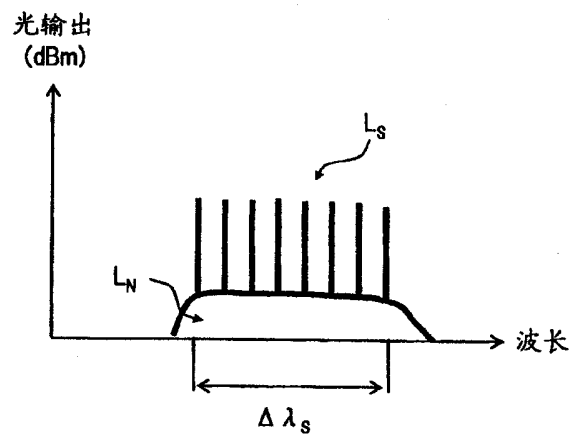


图 9



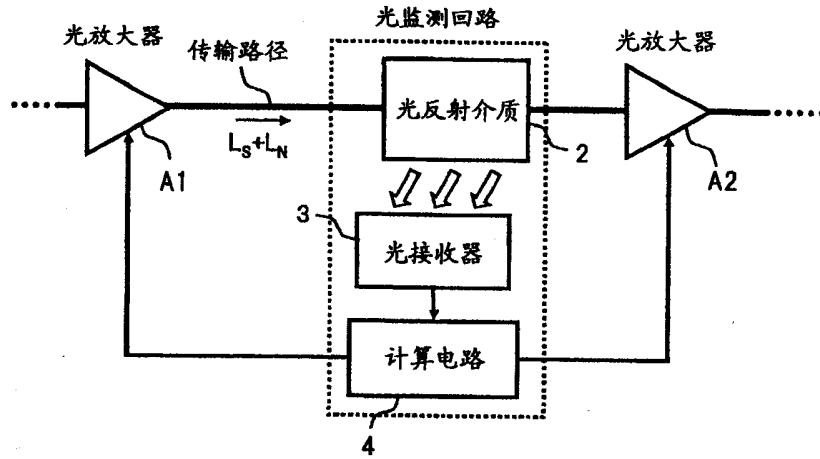
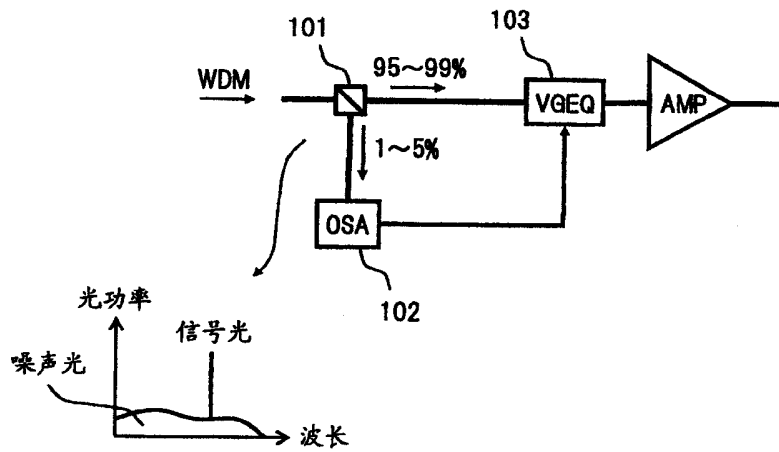


图 11



现有技术

图 12