

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

H04J 14/02

H01S 3/10 H04B 10/02

H04B 10/08 G02F 1/35



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 02152744. X

[43] 公开日 2003 年 6 月 4 日

[11] 公开号 CN 1422028A

[22] 申请日 2002. 11. 27 [21] 申请号 02152744. X

[30] 优先权

[32] 2001. 11. 27 [33] JP [31] 361133/2001

[71] 申请人 住友电气工业株式会社

地址 日本大阪

[72] 发明人 中泽悟 村上泰典

[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

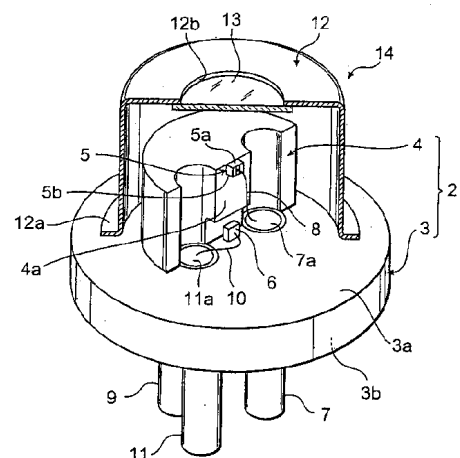
代理人 蒋世迅

权利要求书 2 页 说明书 13 页 附图 6 页

[54] 发明名称 光放大器

[57] 摘要

一种按照本发明的光放大器，包括：EDF 光源装置，它有产生激励光束的半导体激光器单元和容纳这个半导体激光器单元的壳体；和光复用器，它有与光源装置光耦合的输入端，接收信号光束的输入端，和给 EDF 提供激励光束和信号光束的输出端。半导体激光器单元有激活层，激活层是在两个包层之间并包含互不相同导电类型的化合物半导体，半导体激光器单元包含化合物半导体，其结构是这样的，使这个半导体激光器单元在 20℃ 时的振荡波长小于 1470nm，但不小于 1440nm。若具有这样的结构，则可以使 EDF 中增益相对于振荡波长的变化非常地小，以及可以使 NF 非常地小。



ISSN 1008-4274

1. 一种光放大器, 包括:

掺铒光纤;

激励光源装置, 它有产生激励光束的半导体激光器单元和容纳所述半导体激光器单元的壳体; 和

光复用器, 它有与所述激励光源装置光耦合的第一输入端, 接收信号光束的第二输入端, 和给所述掺铒光纤提供所述激励光束和所述信号光束的输出端;

其中所述半导体激光器单元包括:

含第一导电类型化合物半导体的第一包层;

含第二导电类型化合物半导体的第二包层; 和

介于所述第一包层与所述第二包层之间的激活层;

且其中所述半导体激光器单元有以下配置(1)至(3)中之一的配置:

(1) 其中所述激活层包含化合物半导体, 以及所述半导体激光器单元的振荡波长在 20°C 时小于 1470nm, 但不小于 1440nm;

(2) 其中第一导电类型的所述化合物半导体是第一导电类型的 InP 半导体, 第二导电类型的所述化合物半导体是第二导电类型的 InP 半导体, 所述激活层包含化合物半导体, 和所述半导体激光器单元的振荡波长在 20°C 时小于 1470nm; 和

(3) 其中第一导电类型的所述化合物半导体是第一导电类型的 InP 半导体, 第二导电类型的所述化合物半导体是第二导电类型的 InP 半导体, 所述激活层有多量子阱结构, 该结构有包含 GaInAsP 半导体的阻挡层和阱层, 和所述半导体激光器单元的振荡波长在 20°C 时小于 1470nm。

2. 按照权利要求 1 的光放大器, 其中构成所述激励光源装置的所述壳体包括: 金属制成的安装件, 而所述半导体激光器单元安排在所述安装件上。

3. 按照权利要求 1 或 2 的光放大器, 其中构成所述激励光源装置的所述壳体包括:

有安装部分的管座, 所述半导体激光器单元安装在其上面, 使所述半导体激光器单元的光轴面向预定的轴方向; 多个导电插针, 有沿所述预定轴方向延伸的部分; 和透射来自所述半导体激光器单元的光的光学窗口; 和

所述管座上安排的外罩, 用于覆盖所述半导体激光器单元。

4. 一种光放大器, 包括:

掺铒光纤;

第一激励光源装置, 它是由权利要求 1 所述的光放大器中的所述激励光源装置构成;

第一光复用器, 它有与所述第一激励光源装置光耦合的第一输入端, 接收信号光束的第二输入端, 和给所述掺铒光纤输出所述激励光束和信号光束的第一输出端;

第二激励光源装置, 它是由权利要求 1 所述的光放大器中的所述激励光源装置构成; 和

第二光复用器, 它有与所述第二激励光源装置光耦合的第三输入端, 接收信号光束和给所述掺铒光纤输出激励光束的第四输入端, 和输出所述信号光束的第二输出端。

5. 按照权利要求 1 至 4 中任一个的光放大器, 其中所述激励光源装置是非温度调整光源装置。

光放大器

技术领域

本发明涉及光放大器。

背景技术

在 WDM (波分复用) 传输系统中, 其中多个波长分量构成信号光束的发射是通过把这些分量同时引入到光纤路径上, 在中继站采用光放大器以补偿这些多波长信号光束在长距离传输时发生的传输损耗。此外, 还采用光放大器以补偿中继站内各种装置 (例如, AWD: 列阵波导光栅) 的无源光学器件中的传输损耗。

这样构成的光放大器包括: 光放大部分, 用于在输出之前放大输入的信号光束, 并且这是通过掺以能够由激励光束激励的荧光物质而得到的; 和激励光源装置, 用于发射激励光束提供给这个光放大部分。在光放大部分, 通常是在光纤中添加铒 (以下简称为 “Er”) 以得到掺 Er 光纤 (EDF: 掺铒光纤)。1480 nm 通常是作为这种掺 Er 光纤的激励光束波长; 当这个波长的激励光束提供给掺 Er 光纤时, Er 被这个激励光束具有的光能所激励, 使 Er 形成反转分布条件, 因此, 在信号光束的输入端发生受激发射现象, 从而放大信号光束。

此外, 激励光源装置包括: 产生激励光束的半导体激光器单元。有两种类型的激励光源装置是众所周知的: 包含用于冷却半导体激光器单元的冷却元件的类型和不包含冷却元件的类型。其中没有冷却元件的激励光源装置 (以下称之为 “非温度调整激励光源装置”) 是较理想的, 因为这种激励光源装置的尺寸小和成本低。我们早已知道, 这种非温度调整激励光源装置在 20°C 时的激励光束振荡波长为 1480 nm。

发明内容

然而, 常规的上述非温度调整激励光源装置存在以下的问题。

具体地说，在非温度调整激励光源装置中，当半导体激光器单元的温度升高时，该半导体激光器单元的振荡波长偏移到大于 1480 nm 的波长区；然而，当振荡波长大于 1480 nm 时，掺 Er 光纤的增益突然地减小，因此出现这样一个问题，掺 Er 光纤的增益在不同波长下相差悬殊。

本发明的目的是提供这样一种光放大器，可以使掺 Er 光纤的增益与波长的依赖关系足够小。

在解决以上问题的仔细研究中，本发明者发现，可以采用这样一种半导体激光器单元来解决以上的问题，在所谓的非温度调整激励光源装置中，20°C 时的振荡波长小于 1470 nm，但不小于 1440 nm，从而使本发明更加完善。

具体地说，按照本发明的光放大器包括：掺铒光纤；激励光源装置，它有产生激励光束的半导体激光器单元和容纳所述半导体激光器单元的壳体；和光复用器，它有与所述激励光源装置光耦合的第一输入端，接收信号光束的第二输入端，和给所述掺铒光纤提供所述激励光束和信号光束的输出端；所述半导体激光器单元包括：含所述第一导电类型化合物半导体的第一包层；含所述第二导电类型化合物半导体的第二包层；和含化合物半导体的激活层，激活层介于所述第一包层与所述第二包层之间，其结构是这样的，所述半导体激光器单元的振荡波长在 20°C 时小于 1470 nm，但不小于 1440 nm。

此外，按照本发明的光放大器包括：掺铒光纤；激励光源装置，它有产生激励光束的半导体激光器单元和容纳所述半导体激光器单元的壳体；和光复用器，它有与所述激励光源装置光耦合的第一输入端，接收信号光束的第二输入端，和给所述掺铒光纤提供所述激励光束和信号光束的输出端；所述半导体激光器单元包括：含所述第一导电类型 InP 半导体的第一包层；含所述第二导电类型 InP 半导体的第二包层；和含化合物半导体的激活层，激活层介于所述第一包层与所述第二包层之间，其结构是这样的，所述半导体激光器单元的振荡波长在 20°C 时小于 1470 nm。

此外，按照本发明的光放大器包括：掺铒光纤；激励光源装置，它有产生激励光束的半导体激光器单元和容纳所述半导体激光器单元的壳体；和光复用器，它有与所述激励光源装置光耦合的第一输入端，接收信号光束的第二输入端，和给所述掺铒光纤提供所述激励光束和信号光束的输出端；所述半导体激光器单元包括：含所述第一导电类型 InP 半导体的第一包层；含所述第二导电类型 InP 半导体的第二包层；和有多量子阱结构的激活层，激活层介于所述第一包层与所述第二包层之间，它有含 GaInAsP 半导体的阻挡层和阱层，其结构是这样的，这个半导体激光器单元的振荡波长在 20°C 时小于 1470 nm。

利用这些发明，当电压加在第一包层与第二包层之间时，从半导体激光器单元的激活层射出振荡波长小于 1470 nm 的激励光束。这个激励光束通过光复用器的第一输入端和输出端提供给掺铒光纤。信号光束通过光复用器的第二输入端和输出端输入到掺 Er 光纤。然后，这个信号光束在掺铒光纤内被光放大。由于半导体激光器单元在 20°C 时的振荡波长设置在 1480 nm 的短波长侧，该波长是增益的峰值波长，可以使 EDF 中增益随振荡波长改变量的变化量非常地小。所以，可以使半导体激光器单元在温度高的情况与温度低的情况之间的增益差非常地小。

此外，按照本发明的光放大器包括：掺铒光纤；所述光放大器中所述激励光源装置构成的第一激励光源装置；第一光复用器，它有与所述第一激励光源装置光耦合的第一输入端，接收信号光束的第二输入端，和给所述掺铒光纤输出所述激励光束和信号光束的第一输出端；所述光放大器中所述激励光源装置构成的第二激励光源装置；和第二光复用器，它有与所述第二激励光源装置光耦合的第三输入端，接收信号光束和给所述掺铒光纤输出激励光束的第四输入端，和输出所述信号光束的第二输出端。

利用这些发明，当电压加在第一激励光源装置中的第一包层与第二包层之间时，从半导体激光器单元的激活层射出振荡波长小于 1470 nm 的激励光束。这个激励光束通过第一光复用器的第一输入端和第一

输出端提供给掺 Er 光纤。当电压加在第二激励光源装置中的第一包层与第二包层之间时，从半导体激光器单元的激活层射出振荡波长小于 1470 nm 的激励光束。这个激励光束通过第二光复用器的第三输入端和第四输入端提供给掺 Er 光纤。与此同时，信号光束通过第一光放大器的第二输入端和第一输出端输入到掺 Er 光纤。因此，该信号光束在掺 Er 光纤中被光放大。在第一激励光源装置和第二激励光源装置的半导体激光器单元中，20°C 时的振荡波长设置在 1480 nm 的短波长侧，该波长是峰值增益的波长，可以使掺 Er 光纤中增益随振荡波长改变量的变化量非常地小。所以，可以使半导体激光器单元在温度高的情况与温度低的情况之间的增益差非常地小。

附图说明

图 1 是按照本发明光放大器所用一个实施例激励光源装置的部分切除透视图；

图 2 是图 1 中半导体激光器单元结构的剖面图；

图 3 是激活层中多量子阱结构的剖面图；

图 4 是按照本发明一个实施例的光放大器布局图；

图 5 是按照本发明放大器中输出特性的模拟测试结果曲线图；和

图 6 是激励光束的振荡波长在 1480 nm 短波长侧时光放大器输出特性的测试结果曲线图。

具体实施方式

以下详细描述本发明的一个实施例。图 1 是按照本发明光放大器所用一个实施例激励光源装置的部分切除透视图，该装置是所谓的非温度调整激励光源装置。如图 1 所示，激励光源装置 1 包括：称之为管座 2 由金属制成的安装件。这个管座 2 包括：圆盘状基底 3 和剖面为半月形的安装部分 4。基底 3 有平坦面 3a，而安装部分 4 是从平坦面 3a 整体延伸的。安装部分 4 包括：垂直于平坦面 3a 的安装面 4a；利用焊剂使产生激光的半导体激光器单元 5 固定到安装面 4a。半导体激光器单元 5 包括：发射激光束的第一端面 5a，和与第一端面 5a 相对的第二端面 5b，第一端面 5a 和第二端面 5b 固定到安装面 4a，使这

两个端面垂直于安装面 4a。激光束的光轴 43 实际上与第一端面 5a 正交。

在平坦面 3a 上还固定用于监测目的的光电二极管 6，光电二极管 6 面向第二端面 5b；监测光电二极管 6 监测从第二端面 5b 发射的激光束。

此外，笔直地向外延伸的第一导电插针 7 固定到管座 2 的基底 3，第一导电插针 7 的针尖 7a 暴露在基底 3 的平坦面 3a 一侧。此外，借助于 Au 或 Al 制成的第一导线 8，第一导电插针 7 的针尖 7a 电路连接到半导体激光器单元 5。此外，笔直地向外延伸的第二导电插针 9 是在管座 2 的基底 3 的背面 3b 上；第二导电插针 9 的功能是用作衬片的终端，它与管座 2 连接。此外，借助于绝缘体，笔直地向外延伸的第三导电插针 11 固定到管座 2 的基底 3，这个第三导电插针 11 的针尖 11a 暴露在基底 3 的平坦面 3a 一侧。此外，借助于 Au 或 Al 制成的第二导线 10，第三导电插针 11 的针尖 11a 与用于监测的光电二极管 6 连接。

第一导电插针 7，第二导电插针 9 和第三导电插针 11 中的每个导电插针沿着半导体激光器单元 5 发射激光束的发射方向延伸。基底 3，安装部分 4 和第二导电插针 9 都是利用相同的材料（例如，Fe 或 Cu 等）制成。

此外，帽子形状的外罩 12 是在基底 3 的平坦面 3a 之上以覆盖安装部分 4。外罩 12 包括：凸缘 12a，凸缘 12a 和平坦面 3a 是通过焊接相连的。此外，孔径 12b 形成在外罩 12 上，玻璃窗（光学窗）13 用于阻塞孔径 12b。玻璃窗 13 安排在与半导体激光器单元 5 光轴 43 相交的位置。所以，来自半导体激光器单元 5 的激光束透射通过玻璃窗 13。壳体 14 是由外罩 12 和管座 2 构成。在壳体 14 内密封干氮，可以完全避免半导体激光器单元 5 的性能恶化。

图 2 是半导体激光器单元 5 的剖面图。如图 2 所示，在半导体激光器单元 5 中，当载流子注入到激活层 15 中时，激活层 15 产生和放大光，而把激活层 15 夹在中间的第一包层 16 和第二包层 17 是在半导

体衬底 18 上。第一包层 16 包含第一导电类型的化合物半导体，其折射率低于激活层 15 的折射率。第二包层 17 包含第二导电类型的化合物半导体，其折射率低于激活层 15 的折射率。半导体激光器单元 5 是这样一种单元，其中第一包层 16 和第二包层 17 从两侧注入载流子到激活层 15 中以形成反转分布，从而产生激光振荡。

如上所述，半导体激光器单元 5 包括：第一端面 5a 和面向第一端面 5a 的第二端面 5b。第一端面 5a 的光反射率小于第二端面 5b 的光反射率。为了实现这个目的，在第一端面 5a 上涂以低反射率薄膜，其反射率约为 0.1% 至 3%，因此，实际上所有的光透射通过第一端面 5a。与此对比，在第二端面 5b 上涂以高反射率薄膜，因此，其反射率是在 80% 以上。所以，第一端面 5a 变成光发射面，而第二端面 5b 变成光反射面。激光束沿着图 2 中箭头 A 的方向射出。

半导体激光器单元 5 的电极 19a 通过第一导线 8 与第一导电插针 7 连接，而半导体激光器单元 5 的电极 19b 通过安装部分 4 和基底 3 与第二导电插针 9 电路连接。在采用激励光源装置 1 时，功率源（未画出）的正电极与第一导电插针 7 连接，而功率源的负电极与第二导电插针 9 连接。功率源是用于把半导体激光器单元 5 中产生激光振荡所需的电流加到半导体激光器单元 5 上的功率源。在这个功率源中，半导体激光器单元 5 的 PN 二极管或 PN 结夹心激活层 15 是沿正方向的正向偏置，因此，载流子是从第一包层 16 和第二包层 17 各自注入到激活层 15。在半导体激光器单元 5 中，当载流子从第一包层 16 和第二包层 17 注入时，在激活层 15 中产生受激发射现象，使激光束从半导体激光器单元 5 的第一端面 5a 发射；这个激光束通过玻璃窗 13 射出到壳体 14 外。如以下所描述的，这个激光束用作光放大器的激励光束。

当这个半导体激光器单元 5 的温度是 20°C 时，从半导体激光器单元 5 发射的激光束振荡波长小于 1470 nm（例如，1465 nm）。因此，通过设置激光束振荡波长在 20°C 环境时为 1480 nm 的短波长侧，该波长是掺 Er 光纤 28 中峰值增益的波长，如以下所描述的，可以使 EDF

中增益随振荡波长改变量的变化量非常地小。所以，当半导体激光器单元 5 的温度高时和温度低时，如以下所描述的，可以使掺 Er 光纤 28 中的增益差非常地小。此外，通过设置激光束振荡波长在 20°C 时为 1480 nm 的短波长侧，该波长是掺 Er 光纤 28 中峰值增益的波长，如以下所描述的，由于半导体激光器单元 5 的温度上升，即使当振荡波长偏移到大于 1470 nm 的长波长区时，可以使光放大有小的 NF(噪声系数)。

为了使半导体激光器单元 5 中激光束振荡波长在 20°C 环境时小于 1470 nm，例如，采用 n 型 InP 半导体衬底作为半导体衬底 18 和采用 $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}_{1-y}\text{P}_y$ 作为激活层 15。为了得到激光束振荡波长在 20°C 环境时为 1465 nm，要求 $X=0.34$ 和 $Y=0.27$ 。

应当注意，激光束的振荡波长在 20°C 环境时不限制于上述的 1465 nm，只要该波长小于 1470 nm。所以，激光束的振荡波长可以小于或等于 1460 nm，或小于或等于 1455 nm。然而，激光束的振荡波长至少为 1440 nm。为了使振荡波长大于或等于 1440 nm，例如，第一包层 16 可以包含 n 型 InP 半导体，而第二包层 17 可以包含 p 型 InP 半导体。由于第一包层 16 和第二包层 17 应当为互不相同的导电类型，也可以是这样的情况，第一包层 16 包含 p 型 InP 半导体，而第二包层 17 包含 n 型 InP 半导体。

为了得到理想的激光束振荡波长，要求适当改变激活层 15 中所用构成元素 $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}_{1-y}\text{P}_y$ 的 X 和 Y。

最好是，半导体激光器单元 5 中的激活层 15 有多量子阱结构。就是说，激活层 15 最好是由互不相同组成的薄膜叠层构成。按照这种方法，可以减小激活层 15 中的吸收损耗。激活层 15 中的多量子阱结构可以是这样构成的，例如，交替地叠层不同混合晶体比的 InGaAsP 薄膜 15a 和 15b (见图 3)。薄膜 15a 的功能是阻挡层，而薄膜 15b 的功能是阱层。

以下，描述按照本发明一个实施例的光放大器 21。

图 4 是按照这个实施例中光放大器 21 的结构图。在图 4 中，按照

这个实施例的光放大器 21 包括：输入信号光束的输入端 21a 和输出信号光束的输出端 21b。信号光束是从输入端 21a 输入，而通过输入光束隔离器 22，第一分支单元 24，第一光复用器 26，掺 Er 光纤 28，第二光复用器 30，第二分支单元 32 和输出光束隔离器 34 从输出端 21b 输出。以下，从输入端 21a 到输出端 21b 的方向称之为“正向”，而从输出端 21b 到输入端 21a 的方向称之为“反向”。

光放大器 21 包括：输入监测光电二极管 25 和输出监测光电二极管 33，光电二极管 25 用于监测被第一分支单元 24 分出的信号光束，而光电二极管 33 用于监测被第二分支单元 32 分出的信号光束。此外，光放大器 21 包括：正向激励光源装置 27 和后向激励光源装置 31，光源装置 27 用于发射朝向第一光复用器 26 的激励光束，而光源装置 31 用于发射朝向第二光复用器 30 的激励光束。

正向激励（沿前进方向的激励）的光学模块 35 是由输入光束隔离器 22，第一分支单元 24，输入监测光电二极管 25，第一光复用器 26 和正向激励光源装置 27 构成；后向激励（沿后退方向的激励）的光学模块 36 是由第二光复用器 30，后向激励光源装置 31，第二分支单元 32，输出监测光电二极管 33 和输出光束隔离器 34 构成。

以下详细描述上述结构单元中的主要结构单元。掺 Er 光纤 28 是石英基光纤，其纤芯掺以 Er。Er 被正向激励光源装置 27 和后向激励光源装置 31 输出的激励光束所激励，并发射相同波长的受激发射光作为信号光束输入端的这个信号光，该信号光束是从输入端 21a 输入的。Er 元素被采用的 1480 nm 波长所激励。此外，当 1550 nm 波段的信号光束在 Er 元素被激励的状态下输入时，1550 nm 波段的受激发射光从这个 Er 元素射出，即，信号光束被放大。由于这个 1550 nm 波段是石英基光纤中最小损耗的波段，在光通信中频繁使用 1550 nm 波段的信号光束，因此，在使用 EDF 的光放大器中有很多的应用。此外，掺 Er 光纤 28 有预定的长度（例如，30 m）以保证固定的放大因子，且这种长度的掺 Er 光纤制成一个线圈。通常，掺 Er 光纤 28 中还掺以 Ge 和 Al 以扩展信号带宽。

在输入端 21a 一侧，在掺 Er 光纤 28 的末端有第一光复用器 26。第一光复用器 26 包括：第一输入端 37，用于接收正向激励光源装置 27 发射的激励光束（以下称之为“正向激励光束”）；第二输入端 38，用于接收输入端 21a 输入的信号光束；和第一输出端 39，用于输出第二输入端 38 接收的信号光束和第一输入端 37 输入的正向激励光束。

同样地，在输出端 21b 的一侧，在掺 Er 光纤 28 的末端有第二光复用器 30。第二光复用器 30 包括：第三输入端 40，用于输入后向激励光源装置 31 发射的激励光束（以下称之为“后向激励光束”）；第四输入端 41，用于输入掺 Er 光纤 28 输出的上述信号光束和输出第三输入端 40 输入的后向激励光束；和第二输出端 42，用于输出第四输入端 41 输入的信号光束。

在第一光复用器 26 和第二光复用器 30 中，例如，采用有多层薄膜滤波器配备的复用器，其中插入两个不同折射率物质交替叠层制成的多层薄膜滤波器。

激励光源装置 27 和 31 输出相同波长的激励光束。在这两个激励光源装置 27 和 31 中，可以采用上述的激励光源装置 1（见图 1 和图 2）。所以，当半导体激光器单元 5 在 20°C 时，例如，激光束的振荡波长为 1465 nm。

此外，利用以上的结构，由于激励光源装置 27 发射的正向激励光束沿着激励光源装置 31 的方向前进，借助于第二光复用器 30 的作用，可以防止正向激励光束前进到第二光复用器 30 之后。同样地，由于激励光源装置 31 发射的后向激励光束沿着激励光源装置 27 的方向前进，借助于第一光复用器 26 的作用，可以防止后向激励光束前进到第一光复用器 26 之前。

在第一光复用器 26 之前和在第二光复用器 30 之后，分别配置输入光束隔离器 22 和输出光束隔离器 34，这两个隔离器有选择地传输光的前进。就是说，在输入端 21a 输入之后，输入光束隔离器 22 传输信号光束向前进并阻挡向后前进的光，例如，从激励光源装置 31 发射

的后向激励光束和诸如光学部件产生的信号光束向后的反射光。此外，输出光束隔离器 34 传输正向前进的信号光束并阻挡向后前进的光，例如，从输出端 21b 进入的噪声。

其次，描述按照这个实施例中光放大器的作用和优点。首先，在正向激励光源装置 27 中，当功率源通过第一导电插针 7 和第二导电插针 9 把电压加到半导体激光器单元 5 上时，由于该功率源正向偏置半导体激光器单元 5 中 PN 二极管或 PN 结夹心激活层 15，从第一包层 16 和第二包层 17 分别注入载流子到激活层 15。当从第一包层 16 和第二包层 17 分别注入载流子到半导体激光器单元 5 中时，光就在激活层 15 中产生。

然后，这个光被引导通过激活层 15 指向第一端面 5a 和第二端面 5b，且第二端面 5b 反射的光被引导指向第一端面 5a。与此同时，这个光借助于受激发射现象产生激光。到达第一端面 5a 的激光束传输通过第一端面 5a 并从半导体激光器单元 5 射出。射出的激光束用作激励 Er 元素的激励光束。

半导体激光器单元 5 按照这种方式射出的激励光束通过第一光复用器 26 输入到掺 Er 光纤 28。

在后向激励光源装置 31 中，如同正向激励光源装置 27 的情况一样，按照相同的方式射出激励光束，且这个激励光束通过第二光复用器 30 输入到掺 Er 光纤 28。

另一方面，当 1550 nm 波段的信号光束输入到输入端 21a 时，该信号光束通过输入光束隔离器 22，第一分支单元 24 和第一光复用器 26 输入到掺 Er 光纤 28。

激励光束使掺 Er 光纤 28 中的 Er 元素形成反转分布状态，因此，当信号光束输入到掺 Er 光纤 28 中时，该信号光束产生受激发射现象，使信号光束被放大并从掺 Er 光纤 28 中射出。

因此，在正向激励光源装置 27 和后向激励光源装置 31 中，半导体激光器单元 5 在 20°C 环境时产生振荡波长小于 1470 nm 的激励光束。按照这种方式，通过设置振荡波长在 1480 nm 的短波长侧，该波

长是掺 Er 光纤 28 中峰值增益的波长，可以使掺 Er 光纤 28 中增益随振荡波长改变量的变化量非常地小，因此，可以使掺 Er 光纤中增益与波长的依赖关系非常地小。所以，当半导体激光器单元 5 的温度高与温度低时，可以使增益差非常地小。此外，通过设置振荡波长在 1480 nm 的短波长侧，该波长是掺 Er 光纤 28 中增益的峰值波长，可以使 NF 充分地小，并可以使 NF 与波长的依赖关系很小。

在信号光束通过第二光复用器 30，第二分支单元 32 和输出光束隔离器 34 从输出端 21b 输出之前，按照这种方式放大的信号光束从掺 Er 光纤 28 中射出。

图 5 是按照本发明光放大器中输出特性的模拟测试结果曲线图，它表示信号光束的输出功率和 NF（噪声系数）与半导体激光器单元 5 发射的激励光束振荡波长之间的关系。在图 5 中，方形符号表示信号光束的输出功率（dBm），而菱形符号表示 NF（dB）。按照以下的条件在图 4 所示光放大器中进行计算机模拟。

信号光束的输入： -14 dBm

信号光束的波长： 1550 nm

EDF 长度： 13 m

正向激励光源装置的输出： 16 mW。

后向激励光源装置的输出： 16 mW。

激励光源装置的振荡波长（20°C）： 1460 nm 至 1500 nm。

根据图 5 所示的结果可以看出，信号光束的输出功率在 1480 nm 时为最大，以及输出功率在这个波长的长波长侧和短波长侧都下降。然而，本发明者注意到，当半导体激光器单元发射的激励光束振荡波长在 1480 nm 的短波长侧时，输出功率与振荡波长的正比变化小于振荡波长在长波长侧情况下的正比变化，而且，输出功率在长波长区突然地减小。此外，本发明还注意到，如图 5 所示，随着温度的升高，半导体激光器单元的振荡波长偏移到长波长侧。

此外，可以从图 5 中看出，小的 NF 和小的波长依赖关系的区域是在小于峰值增益波长的短波长区域。

所以，通过设置激励光束振荡波长在 20°C 环境时为 1480 nm 的短波长侧，可以减小半导体激光器单元温度高情况与温度低情况之间的输出功率差。就是说，通过设置工作温度范围在 1480 nm 的短波长侧，可以减小半导体激光器单元温度高情况与温度低情况之间的输出功率差。

图 6 是光放大器的输出特性测试结果的曲线图，其中激励光束的振荡波长是在 1480 nm 的短波长侧；仅仅画出信号光束的输出功率与半导体激光器单元输出的激励光束振荡波长之间的关系曲线。在图 6 中，“[黑色菱形符号]”表示信号光束的输出功率 (dBm)。垂直轴表示激励光束的振荡波长在 1480 nm 时相对于信号光束输出功率的输出功率变化量 (Δ)。该测试是在以下的条件下利用图 4 所示光放大器进行的。

信号光束的输出: -15 dBm

信号光束的波长: 1550 nm

EDF 长度: 17 m

正向激励光源装置的输出: 13 mW。

后向激励光源装置的输出: 13 mW。

激励光源装置的振荡波长 (20°C): 1410 nm 至 1480 nm。

根据图 6 所示的结果可以看出，当激励光束的振荡波长是在 1480 nm 的短波长侧时，信号光束的输出功率在朝向短波长侧下降。

本发明不限制于上述的实施例。例如，虽然在上述的实施例中，光放大器 21 包括：正向激励的光学模块 35 和后向激励的光学模块 36，但可以仅仅提供这两个光学模块中之一的模块。

此外，在上述的实施例中，虽然正向激励光源装置 27 和后向激励光源装置 31 的振荡波长小于 1470 nm，但是，正向激励光源装置 27 和后向激励光源装置 31 中至少任何一个激励光源装置的振荡波长小于 1470 nm 就足够了。

如上所述，利用按照本发明的光放大器，通过设置激励光源装置的振荡波长在 1480 nm 的短波长侧，该波长是掺铒光纤中增益的峰值

波长，可以使掺铒光纤中增益随振荡波长改变量的变化量非常地小，因此，可以使掺铒光纤中增益与波长之间的依赖关系非常地小。所以，当半导体激光器单元的温度高与温度低时，可以使掺铒光纤中的增益差非常地小。此外，通过设置振荡波长在 1480 nm 的短波长侧，该波长是掺铒光纤中增益的峰值波长，可以使 NF 非常地小，并可以使 NF 与波长之间的依赖关系很小。

图2

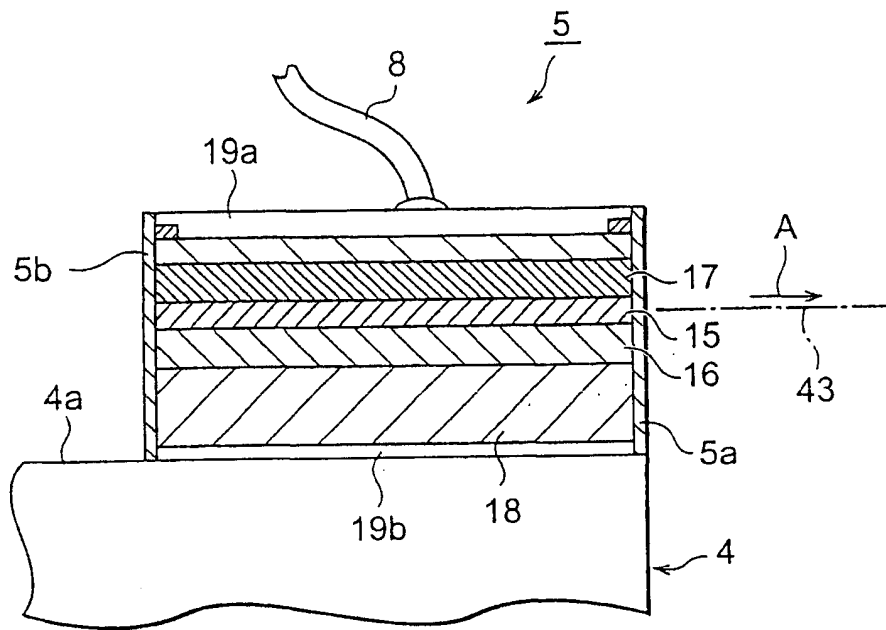


图 3

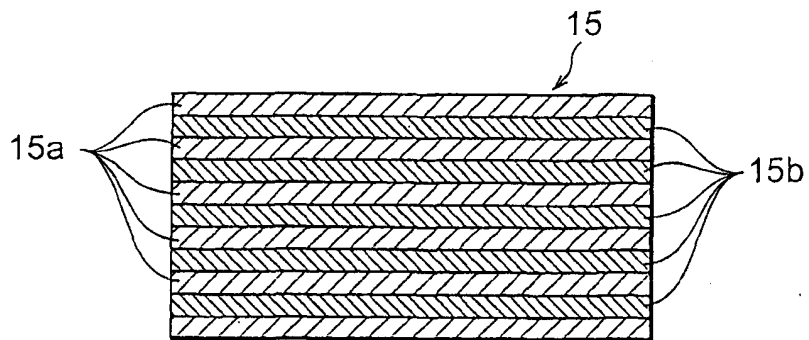


图4

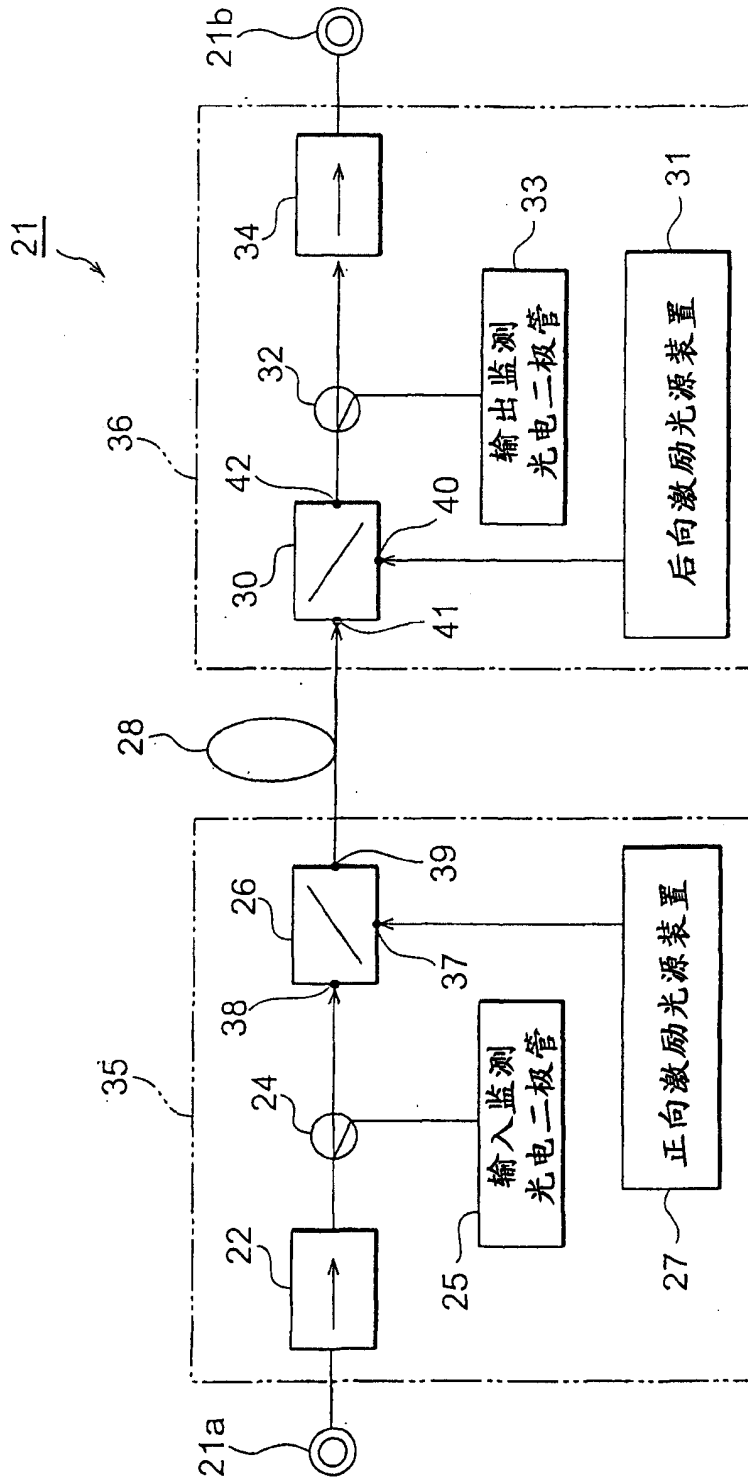


图5

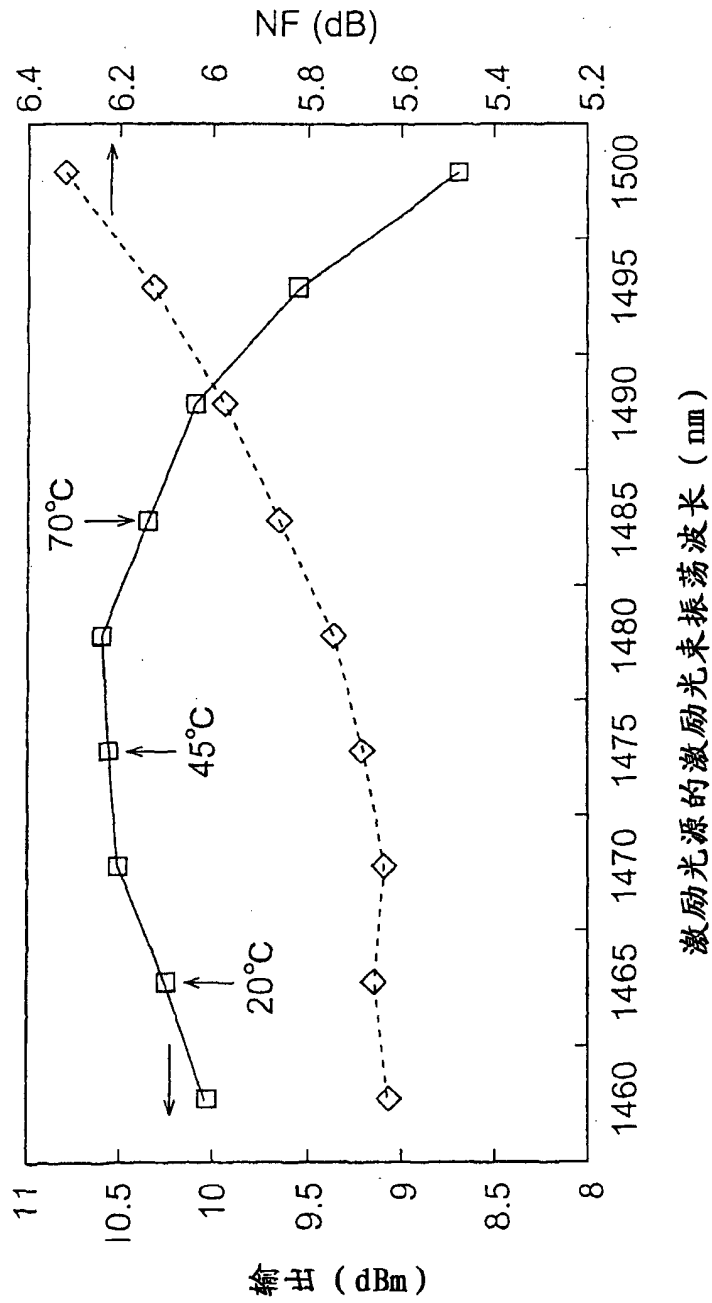
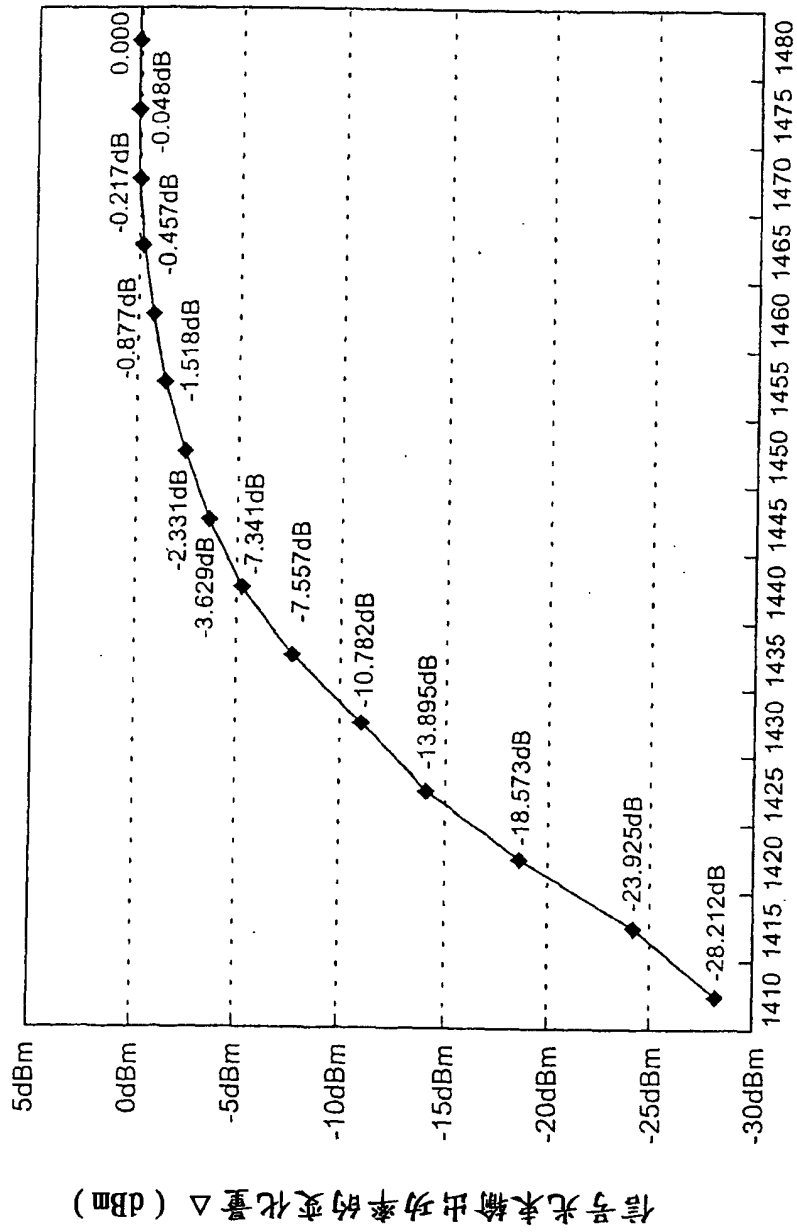


图6



激励光源装置的激励光束振荡波长 (nm)