



# [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 03807712.4

[43] 公开日 2005 年 7 月 27 日

[11] 公开号 CN 1647331A

[22] 申请日 2003.4.7 [21] 申请号 03807712.4  
 [30] 优先权  
 [32] 2002.4.8 [33] GB [31] 0208082.8  
 [86] 国际申请 PCT/GB2003/001530 2003.4.7  
 [87] 国际公布 WO2003/088433 英 2003.10.23  
 [85] 进入国家阶段日期 2004.10.8  
 [71] 申请人 马科尼英国知识产权有限公司  
 地址 英国考文垂  
 [72] 发明人 S·I·佩格

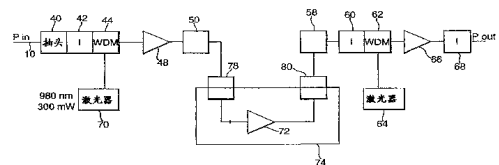
[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司  
 代理人 邹光新 梁永

权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 5 页

[54] 发明名称 光放大器

[57] 摘要

一种 L 波带 EDFA 可具有三个放大级。在第一级中，高功率 980nm 激光器用于产生 C 波带 ASE 噪声，该噪声用于泵浦第二级的掺铒光纤。第二级光纤设置成插入模块，该插入模块连接在第一级隔离器以及第二和第三级之间的级中损耗之间。通过选择具有一段光纤的插入模块而得到放大器的期望增益，该光纤为给定输入功率设定期望放大器输出功率。



- 1.一种掺铒光纤放大器 (EDFA),包括第一和第二放大级,第一放大级包括高功率泵浦激光器以及掺铒光纤,用于在第一波带上产生放大自发发射 (ASE),并且第二放大级包括设置成由来自第一放大级的 ASE 进行泵浦的掺铒光纤,从而在比第一波带更长的波带的信号信道中产生增益,其中第二放大级包括可去除的一段掺铒光纤,可对该掺铒光纤进行选择从而对于给定输入功率产生需要的输出功率。  
5
- 2.根据权利要求 1 的 EDFA,包括第三放大级,用于放大来自第二放大级的输出,并且包括激光泵以及掺铒光纤。  
10
- 3.根据权利要求 2 的 EDFA,包括设置在第二和第三放大级之间的级中损耗。
- 4.根据前述任一权利要求的 EDFA,其中可去除的掺铒光纤设置在插入单元中,该插入单元在光纤端部具有连接器,用于连接到放大器上。  
15
- 5.根据权利要求 3 或 4 的 EDFA,其中级中损耗设置在插入单元中。
- 6.根据前述任一权利要求的 EDFA,其中由第一放大级产生的 ASE 在 C 波带内。
- 7.根据前述任一权利要求的 EDFA,其中由第二放大级产生的增益在 L 波带内。  
20
- 8.根据前述任一权利要求的 EDFA,其中第一放大级的高功率泵浦激光器为 980nm 激光器。
- 9.根据前述任一权利要求的 EDFA,其中第一放大级的高功率泵浦激光器具有足够的功率以便将第一放大级的掺铒光纤中的基本上所有的铒离子进行反转。
- 25 10. 根据权利要求 9 的 EDFA,其中第一放大级的高功率激光器具有 300mw 的功率。
11. 根据权利要求 2 的 EDFA,其中第三放大级泵浦激光器为 1480nm 激光器。
12. 一种掺铒光纤放大器 (EDFA),包括第一、第二以及第三放大级,  
30 第一和第三级包括固定增益级,该固定增益级具有泵浦激光器以及一段掺铒光

纤，第一级的泵浦激光器为高泵浦功率激光器，用于在比由 EDFA 放大的信号波带短的波带内产生放大自发发射（ASE）噪声，并且其中第二放大级包括多个插入级的一个，每个插入级包括不同长度的掺铒光纤，该掺铒光纤在使用中由第一放大级产生的 ASE 噪声进行泵浦，对插入级进行选择从而为第一放大级

5 级的给定信号输入功率产生第三放大级上的预定输出信号功率。

## 光放大器

5 本发明涉及光放大器，尤其涉及 EDFA（掺铒光纤放大器）。特别地，但不排他地，与 L 波带放大器相关。

EDFA 在诸如 WDM（波分复用）以及 DWDM（密集波分复用）的光传输系统中是众所周知的，所述的光传输系统利用该 EDFA 来补偿在传输长度上出现的光损耗。在放大点之间的光损耗根据跨距或者光纤特性以及其他因素发生改变。其结果是，传输线路上的不同放大器的输入功率并不恒定。作为结果，具有变化的光增益的放大器必须确保恒定的发射功率特性。任何固定增益放大器具有高度相关的增益平坦度，该增益度平坦取决于输入功率。现有的系统被设计成使用单独的一组色散放大器，每个放大器在有限的输入功率范围内工作。这是人们所不希望的，并且价格昂贵，导致出现库存控制的问题，尤其需要制造和存储各种不同的放大器。

一种可替换的方案是设计可变增益放大器，该放大器具有可变光衰减器（VOA），从而可以管理沿放大器长度的所需反转。这种放大器使得在约 8-10dB 的动态输入功率范围内，不明显地削弱光信号噪声比（OSNR）。然而，它们需要将放大器设计成用于所需的最高增益。这使得价格昂贵。VOA 控制复杂，并且与现有昂贵的固定增益放大器相比增加了大约 20% 的成本。

因此，存在的问题是在多个不同放大器需要不同输入功率的情况下提供相对便宜的放大。本发明解决了该问题。

本发明提供一种放大器，其具有插入级，该插入级包括一段掺铒光纤，该掺铒光纤的长度取决于输入信号功率和期望输出信号功率。为了使得插入级可使用，对第一放大级进行仔细地设置，从而在比将要放大的信号的波带短的波带内产生 ASE（放大自发发射）噪声。该 ASE 源代替标准泵浦激光器来用作泵浦插入第二级光纤。

更特别的是，提供一种掺铒光纤放大器（EDFA），其包括第一和第二放大级，第一放大级包括高功率泵浦激光器以及用于在第一波带上产生放大自发发射（ASE）的掺铒光纤，并且第二放大级包括设置成由来自第一放大级的 ASE

进行泵浦的掺铒光纤，从而在比第一波带长的波长的信号信道内产生增益，其中第二放大级包括一段可去除的掺铒光纤，对该掺铒光纤进行选择从而对于给定输入功率产生所需要的输出功率。

本发明还提供一种掺铒光纤放大器 (EDFA)，包括第一、第二和第三放大级，第一和第三级包括固定增益级，该固定增益级具有泵浦激光器以及一段掺铒光纤，第一级的泵浦激光器为高功率泵浦激光器，用于在比由 EDFA 放大的信号波带短的波带内产生放大自发发射 (ASE) 噪声，并且其中第二放大级包括多个插入级的一个，每个插入级包括不同长度的掺铒光纤，在使用中，掺铒光纤由第一放大级产生的 ASE 噪声进行泵浦，对插入级进行选择从而对于给定的信号输入功率从第三放大级产生预定输出信号功率给第一放大级。

在本发明的优选实施例中，放大器为 L 波带放大器，并且由第一放大级产生的 ASE 噪声为 C 波带 ASE 噪声。对于这种 L 波带放大器，优选的是由第一放大级泵浦激光器实现在第一级掺铒光纤中铒离子的接近全部的反转，从而产生 C 波带 ASE 噪声。因此，优选的是第一级泵浦激光器为 980nm 激光器的功率可以是几百 MW。

优选的是 EDFA 具有第三级，该第三级包括设置在插入第二级和第三级之间的级中损耗。该级可形成插入级的一部分。第三级可为传统的掺铒光纤以及泵浦激光器，例如 1480nm 泵浦激光器。

本发明的实施例的优点是：可选作插入模块的单个放大器可被用于在传输线路上提供所有的同轴放大器，而不管增益需要的不同。其具有的好处是，制造者仅需要进行单一设计并且保留简单的元件，这将降低成本。插入模块是简单的，其主要包括一段掺铒光纤，并且保留几段不同长度的光纤的插入单元的成本与放大器的整体成本相比要小。

由于放大器的第二级不使用泵浦激光器以及相关的控制电路，所以实施本发明的放大器的成本在现有技术显著降低，尤其当泵浦激光器设备为该设备最昂贵的一个部分时。本发明中的 L 波带放大器可比传统 L 波带放大器便宜大约 30%。

在本发明的一个优选实施例中，在第一级中采用 980nm 的泵浦激光器，从而产生 C 波带 ASE 噪声，其好处是实现接近全部铒离子的反转，从而得到稳定的低噪声放大器。

现在仅通过实施例的方式，参考附图描述本发明的实施例，其中：

图 1 是传统的具有多级放大的 DWDM 光传输线路的示意图；

图 2 是 EDFA 放大器的示意图；

图 3 是图 2 的放大器更详细的图；

5 图 4 是实施本发明的 EDFA 的示意图；以及

图 5 是输出功率相对于图 4 第一和第二级放大器输出的波长的曲线。

参考图 1，多个波长信道 $\lambda_1$ 到 $\lambda_n$ 由光多路复用器 12 在单个光纤 10 上进行多路复用。所得的多路复用信号在沿着传输线路的多个点上进行放大。在该实施例中，示出了三个放大点 14，16 和 18。在最终放大之后，信号多路复用  
10 由多路分离器 20 分成其组成信道 $\lambda_1$ 到 $\lambda_n$ 。单个信道由发光二极管 22 转换成光信号。

每个放大器为 EDFA，每个 EDFA 所需要的输入功率取决于多个因素，包括放大器输入上的信号衰减。传统的信号损耗约为 0.2dB/km。放大级之间的跨距是可变的，取决于网络的物理布局。在图 1 的实施例中，传统的跨距在具有  
15 约 25dB 的损耗的第一和第二 EDFA 放大器 14、16 之间为 100km，在具有约 10dB 的损耗的第二和第三放大器 16、18 之间为 20km。

国际电信联盟标准规定在传统 WDM 系统内的信道间隔为 100GHz，这意味着承载 40 个信道的系统需要 4000GHz 的带宽。

众所周知，1550nm 落在 C 波带内并且对于改变波长位于 EDFA 的相对平坦的区域中心，同时给出高增益系数。  
20

L（长）波带指的是约 1570nm 和 1605nm 之间的波长。与 C 波带相比，这些区域的增益通过减小掺铒光纤的输入泵浦功率而实现。在波带上实现相当平坦的增益曲线，然而，相对增益系数与 C 波带中实现的增益系数相比更小。所述更小的增益可通过在放大器中使用更长的掺铒光纤以及更高的掺杂浓度来  
25 进行补偿。

在放大器的设计中，由每个跨度之间的损耗确定放大器的输入功率。设计者关注的是下一个放大级上的信号损耗。在传统的放大器系统设计中，向每个跨度发出恒定的输出功率。当设计该系统时，因为多个原因而引入较大的余量，例如为了弥补光纤老化时出现的增益损耗，还有为了弥补在光纤接合时（例如，  
30 在偶尔的分离之后）出现的显著损耗变化。

对于余量的要求取决于对信道间串扰和其他非线性影响的控制需要。这些影响随着信号发射功率而增加。随着 DWDM 系统的进化, 信道间隔从 100GHz 变成 50GHz 甚至到 25GHz。因此希望的是使用最小的必要功率, 同时确保每个放大级有相同的输出功率。其结果是, 需要放大器在宽范围的增益上工作。

5 理想地, 根据前一部分的损耗来调节每个放大器的增益。已经实现了采用几种不同的同轴放大器作为跨度损耗的范围, 其可改变大约 20dB, 20dB 太大以至于不能通过改变单个放大器的增益来进行处理。通常是指定多个不同的放大器, 每个处理一部分输入功率。根据跨度损耗选择恰当的放大器, 然而制造者不得不存有大量不同的放大器。

10 本发明基于使用 C 波带来泵浦 L 波带。其不局限于 C 和 L 波带, 而是广泛地使用更短波长发射来泵浦更长的波长。例如 L 波带可用于泵浦 XL 波带。使用 C 波带泵浦 L 波带的理论已经公知, 并且已经由 M.Karasek 在 IEEE Photonics Technology Letters Vol II No.9 第 1111-1113 页中标题为 “Gain Enhancement in Gain-shifted Erbium-Doped Fibre Amplifiers for WDM Amplifiers” 以及由 Lee 等人在 IEEE Photonics Technology Letters Vol II No.1 第 15 42-44 页中的 “Enhancement of Power Conversion Efficiency for an L-Band EDFA with a Secondary Pumping Effect in the Unpumped EDFA Section” 中进行过讨论。

该放大器由一段掺铒光纤 30 组成, 该掺铒光纤 30 接收来自 WDM 耦合器 32 的输出。WDM 耦合器的输入包括工作在 980nm 或者 1480nm 上的泵浦激光器 34 以及主传输光纤 10 上的信号功率。该传输光纤由 WDM 耦合器之前的隔离器 36 进行隔离, 并且另一隔离器 38 设置在放大器的输出上。

激光器辐射激发光纤中的  $\text{Er}^{3+}$  离子, 并且产生三种跃迁: 吸收、受激发射以及自发发射。受激发射出现在泵浦激光器的输入光子使受激离子返回到基态的时候。所发射的光子聚集并导致输入信号放大。对于有效的工作情况, 希望使这些发射最大化。通常, 希望使受激发射最小化, 该受激发射出现在所激励的离子松弛到基态并且伴随着不可控制的光子发射时。这产生了噪声。泵浦激光器的目的是激励铒离子。所传递的能量随着激光波长的增加而减小。因此, 980nm 激光器比 1480nm 激光器发出更多的能量。1480nm 泵浦将铒  $3+$  离子激励到  $4I_{13/2}$  波带顶部。然而, 980nm 激光泵激励  $\text{Er}^{3+}$  到  $4I_{15/2}$  波带。激光泵 25 的波长必须低于当它们松弛时由铒离子发射的波长。980nm 激光泵给出了更好 30

的噪声性能，然而 1480nm 泵浦更有效（给出更高的输出信号功率）。

图 3 示意性地示出了传统 L 波带 EDFA 的构造，例如可用于同轴 WDM 放大器的 EDFA。由于增益需要缓慢增加从而平衡光谱平坦度和噪声性能，该放大器具有三个放大级。

5        在传输光纤 10 上示为  $P_m$  的输入信号到达方框，该方框包括抽头 40、隔离器 42 以及 WDM 耦合器 44。泵浦激光器 46 提供 WDM 耦合器 44 的其他输入，并向前泵浦掺铒光纤（EDF）48 的第一级。EDF 输出侧由隔离器 50 进行隔离，然后连接到另一 WDM 耦合器 52 上，该另一 WDM 耦合器 52 将能量从另一泵浦激光器 54 耦合到光纤上。在 EDF56 的第二级之后可包括级中接入  
10        （mid-stage access）（具有固定损耗）58。该级可安装在前述的多路复用信号的色散补偿单元中。该级中接入点之后连接另一隔离器 60 以及由另一 WDM 耦合器 62 耦合到系统的另一泵浦激光器 64，并且其泵浦 EDF66 的第三部分。最终的放大信号通过另一隔离器 68，该另一隔离器 68 形成放大器的最终级。该点上的输出功率对于传输线路上所有的 EDFA 可以是相同的。

15        对于 L 波带放大器，整个的 EDF 长度可高达 100m。这是在 C 波带放大器中需要的光纤长度的几倍。另外，光纤的铒离子掺杂浓度比 C 波带放大更高。

      现在返回到色散补偿级 58，在一般实践中是在最终的放大级之前插入色散补偿。色散补偿光纤的纤芯比标准传输光纤如 SMF、DMF 或者 NZ-DSF 要窄。这意味着 DCF 纤芯中的功率密度比链路其他部分的功率密度高。因此在  
20        较好的实践中，在信号功率被最终的功率放大级放大之前使信号通过 DCF。

      当上述的 EDFA 的输入功率改变时，放大器增益将发生倾斜。当在放大器处发生更多反转时，放大器朝向 C 波带倾斜。这在 L 波带放大器中是显然不是希望的。这导致在现有技术中使用了几种不同的同轴放大器。每个放大器可在功率输入范围内运行，其在所有的信道上具有标称的平坦增益。在实践中，约  
25        1dB 的平坦度是可接受的。为了改变该增益，可在光纤中使用更多的铒。这可通过例如具有包括可变激光泵浦功率的可变第二放大级来实现。然而，由于上述的色散补偿光纤中高功率密度导致的限制，出现了问题。

      图 4 示出了实施本发明的放大器。从 Karasek 的标题为“Gain Enhancement in Gain-Shifted Erbium-Doped Fibre Amplifiers for WDM Applications”以及上述  
30        的 Lee 等人的“Enhancement of Power Conversion Efficiency for an L-band EDFA

with a secondary Pumping Effect in the Unpumped EDF Section”中可以知道，C波带 ASE 功率可用于泵浦 EDF 并且提供增益给放大器内的 L 波带信道。高度反转的第一级产生大量的前向传递的 C 波带 ASE。

我们已经理解高功率 980nm 泵浦激光器可用于第一级。该激光器可具有约 300mW 的功率。如图 4 所示，第二放大级不由激光器泵浦，而是专门依赖 C 波带 ASE 作为泵浦功率。我们还理解通过使用 C 波带 ASE 作为泵浦功率，就可以利用第二模块部分形成单个放大器，该第二模块部分依据所需的平坦增益进行选择。该模块部分可以是一个插入部分。这克服了现有技术中不得不制作并且存储一系列放大器的问题。在图 4 的实施例中，可使用一系列插入的第二级来形成单个放大器。与第一和第三级不同，该插入级没有昂贵的外部元件，例如激光器或者耦合器，而是基本由几段 EDF 组成。

因此，在图 4 中，放大器的第一和第三级类似于图 3。然而，第一级的泵浦激光器 70 为高功率 980nm 激光器。尽管作为功率等级的实施例给出的是 300mW，但是该功率可依据应用进行改变。激光器功率足够得到全部的或者接近全部的  $\text{Er}^{3+}$  离子反转是很重要的。其好处是可以提供好的噪声特性。

在图 4 中，第一 EDF 级 48 的输出通过隔离器 50。EDF72 的第二部分（未泵浦部分）作为由线路 74 所示的插入部分插入。光纤插入部分的端部通过连接器 78、80 连接到放大器的剩余部分。每个连接器对的一半设置在插入模块上，另一半设置在放大器上。

尽管 DCF58 可设置在插入部分之上，但是优选的是插入部分设置在色散补偿光纤 58 之前。第二级光纤吸收 C 波带 ASE 增益，从而产生希望的功率。DCF 光纤的输入可设计为恒定，其希望能承受上述的 DCF 的高功率密度。因此，第二部分的光纤长度根据放大器的输入功率  $P_{in}$  以及希望的输出功率点进行选择。任何给定的  $P_{in}$  和  $P_{out}$  所需的长度将取决于光纤特性，例如掺铒浓度。

放大器的第三级与图 3 的类似，泵浦激光器泵浦 EDF 的第三级。该级可为传统的 1480nm 激光器，其优选为具有更好的功率转换效率。

因此，图 4 的放大器包括两个固定级以及可变增益第二级，该第二级为可变长度的 EDF，其由第一级产生的 ASE 功率进行泵浦。该 ASE 功率在比第二和第三级的输出更短的波长上。因此，例如，可对第一级激光器进行选择，从而产生 L 波带 ASE，该 L 波带 ASE 然后可用于泵浦第二级从而产生 XL 波带

的平坦增益。

图 5 示出了输出功率相对于第一和第二放大级的波长的曲线。曲线 80 为第一放大级的输出功率。可以看到在约 1560nm 处存在大的泄漏。由附图标记 90 所表示的区域表示 C 波带的 ASE 噪声。该 C 波带从约 1530nm 延伸到 1560nm。可以从曲线 85 看到 C 波带噪声已经被吸收，并且对应 L 波带信道存在功率峰值。可以理解，在 C 和 L 波带（1560-1570nm）之间的过渡区域中还有一些吸收。

第三放大级的输出曲线形状类似于曲线 85。然而，该功率将在波长范围上更大。

本发明的实施例具有多个优点。如上所述，对于同轴或者其他放大级可产生单个基本放大器，同时对便宜而容易插入的第二级进行选择从而给出给定输入功率的正确输出功率。实际上，这可合理化到多个无源 EDF 插头，每个覆盖期望输入功率范围的一部分。这对于不需形成大范围的放大器变体的制造者是有利的。另外，通过将泵浦激光器与相关控制电路一起从一级中消除，实现了更进一步的成本节约。值得考虑的是图 4 的实施例仅花费图 3 实施例约 70% 的成本。

本发明的实施例还具有的好处是：可变长度插头的安装是简单的，减小了安装所花的时间以及所需要的技术人员。这些因素都减少了成本。

本发明的实施例还具有的好处是：在第一级中使用 980nm 的高功率泵浦激光器可实现接近全部的  $\text{Er}^{3+}$  离子的反转，从而在放大器中产生恒定的较低噪声。这又限制了进一步处理所需的处理量，以及当其他处理涉及一定程度的信号损耗时限制了所需的放大量。

对于本领域的技术人员来说，可以进行上述实施例的各种变形。例如，本发明并不局限于 L 波带放大器，在理论上，可应用到其中 ASE 噪声波长比目标波长更短的任何放大中。本发明不局限于上述的三级放大器。尽管现在三级放大器为优选方案，但是其他结构也可行的，并且可在某些情况下进行描述。必要的是在增益级中产生更短波长的 ASE 噪声并使用该噪声来泵浦随后级，从而产生更长波长的输出。

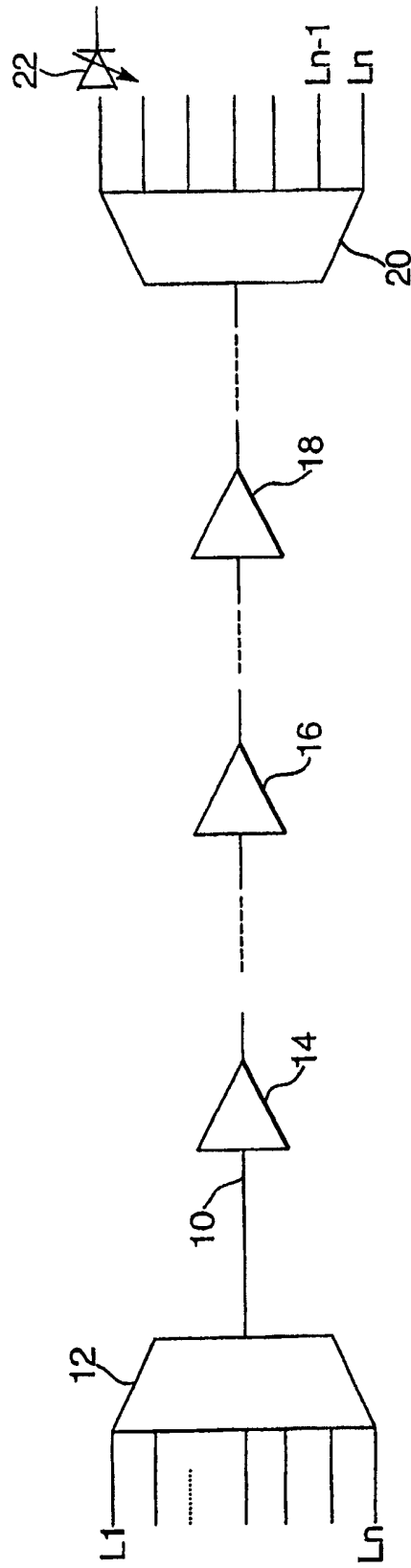


图 1

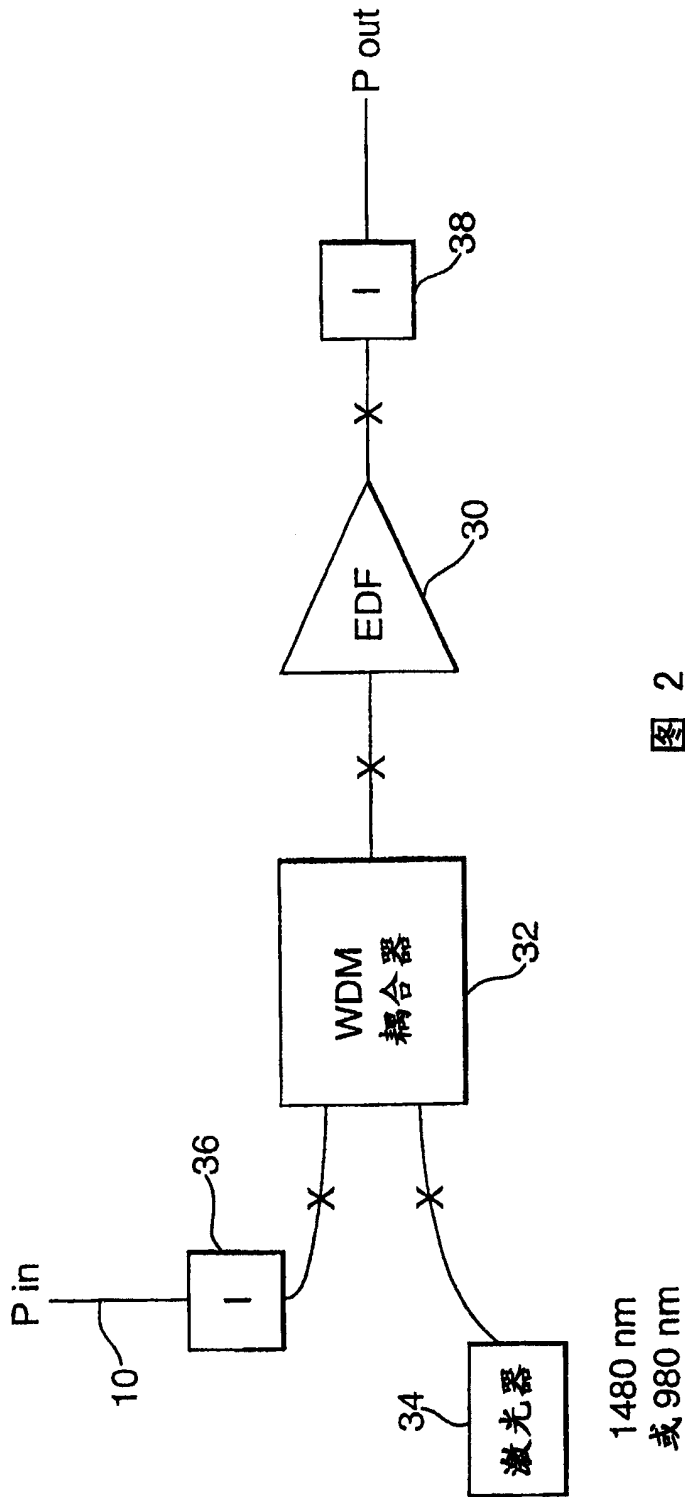


图 2

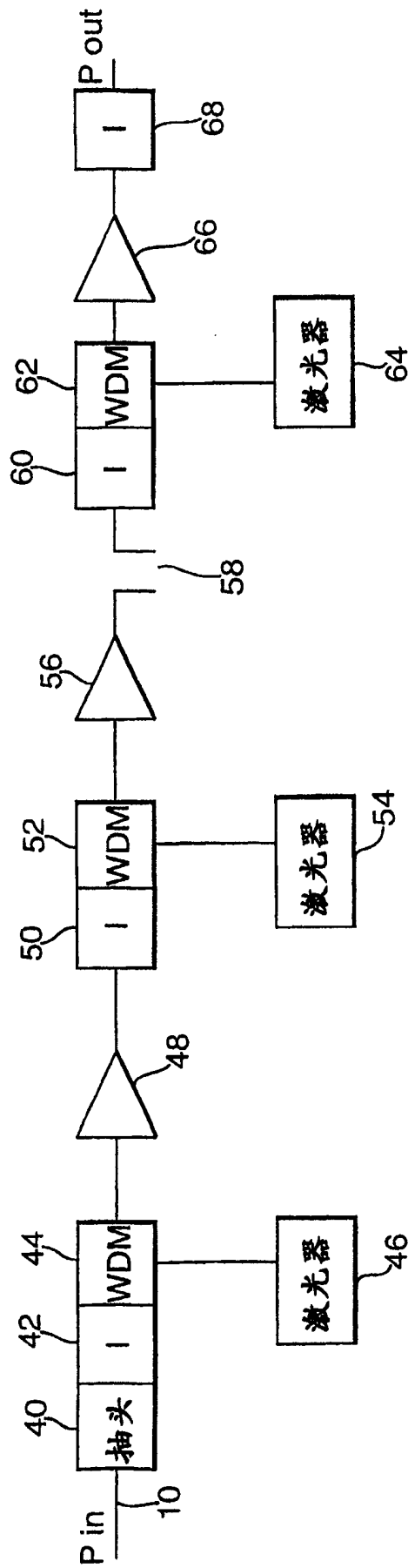


图 3

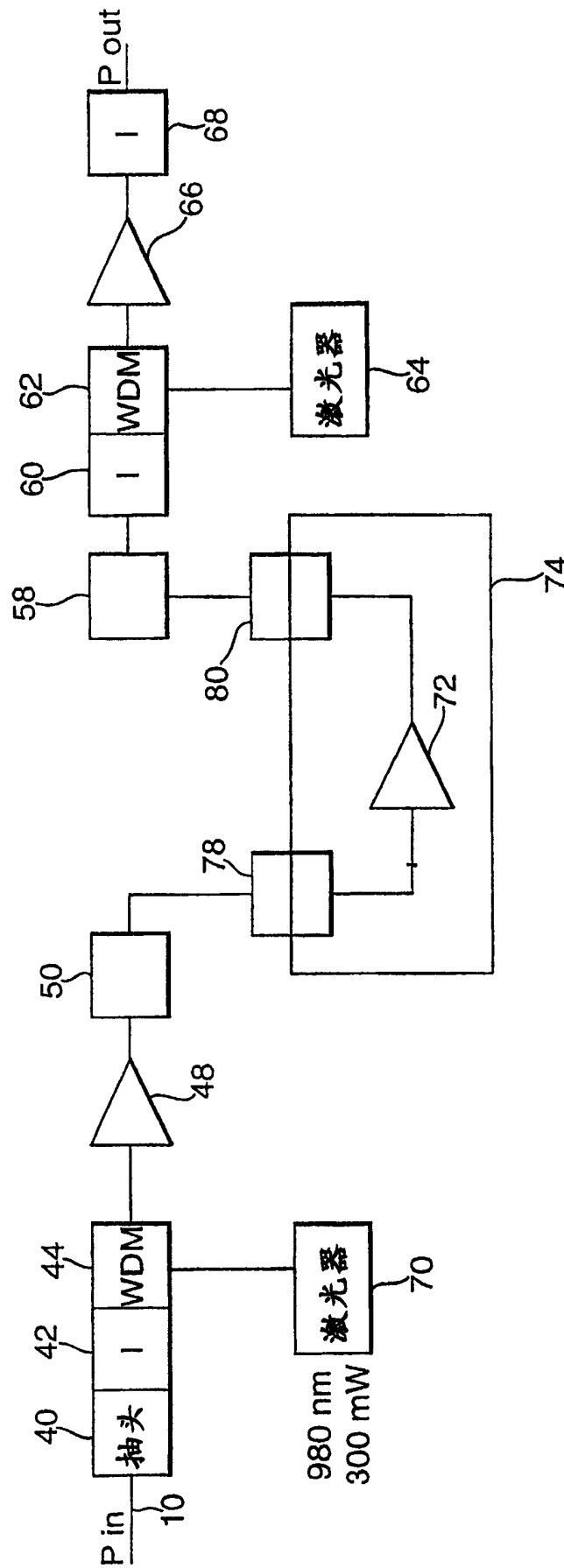


图 4

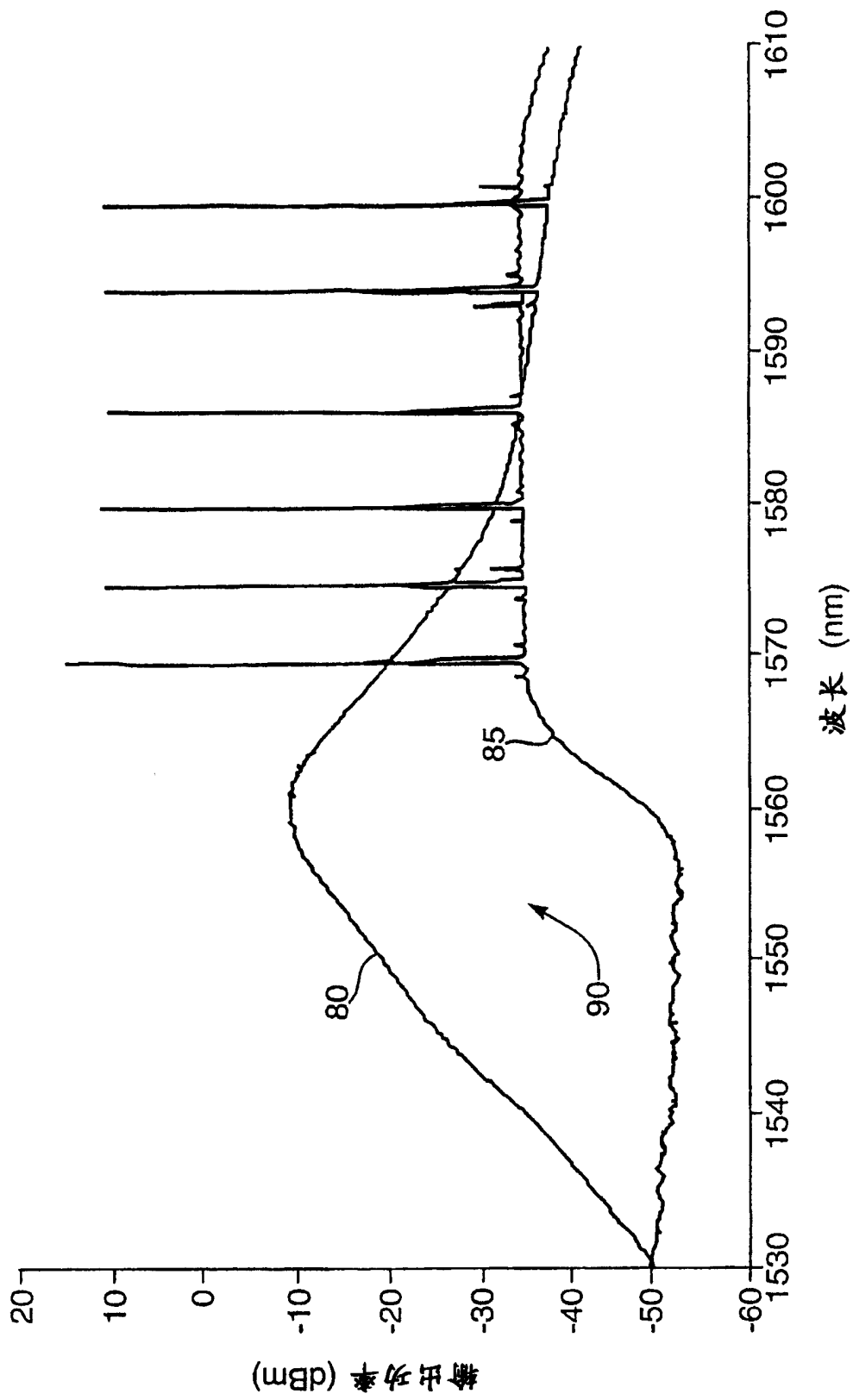


图 5