

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

G02F 1/09

H04J 14/02



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 98118498.7

[45] 授权公告日 2004 年 10 月 6 日

[11] 授权公告号 CN 1170186C

[22] 申请日 1998.8.27 [21] 申请号 98118498.7

[30] 优先权

[32] 1998.1.22 [33] JP [31] 010144/1998

[71] 专利权人 富士通株式会社

地址 日本神奈川县

[72] 发明人 福岛畅洋

审查员 钟焱鑫

[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

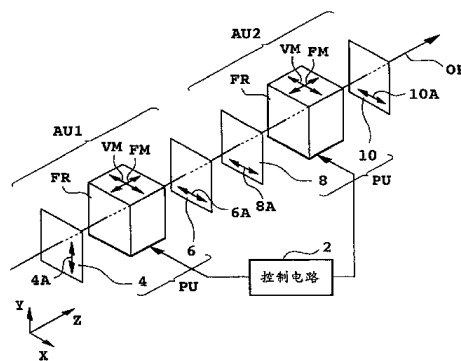
代理人 蒋世迅

权利要求书 9 页 说明书 22 页 附图 18 页

[54] 发明名称 光衰减器及分别有光衰减器的系统，光放大器和终端设备

[57] 摘要

一种光衰减器，包括光路上级联的第一和第二衰减器单元，以及连接到第一和第二衰减器单元的控制电路，第一和第二衰减器单元中的每一个包括光路上放置的法拉第转子；法拉第转子产生一个作为波长函数的法拉第转角；第一和第二衰减器单元中的每一个还包括产生衰减量的偏振单元，此衰减量由光路上的法拉第转角所确定。借助这种配置，总衰减量的波长特性因控制电路的运行基本上是平坦的。



ISSN 1008-4274

1、一种光衰减器，包括：

第一衰减器单元和第二衰减器单元；

所述第一和第二衰减器单元中的每一个包括放在一条光路上的法拉第转子和偏振装置，法拉第转子产生一个作为波长函数的法拉第转角，偏振装置产生一个由所述光路上所述法拉第转角确定的衰减量；

所述第一衰减器单元和第二衰减器单元分别有衰减量的第一波长特性和衰减量的第二波长特性，这两个波长特性各不相同；

每个所述法拉第转子包括所述光路穿过的磁光晶体，磁场施加装置，和磁场调整装置，磁场施加装置用于把不同方向的第一磁场和第二磁场加到所述磁光晶体上，磁场调整装置用于至少改变所述第一磁场和所述第二磁场二者之一；

所述第一和第二磁场是这样设定的，使所述第一磁场与所述第二磁场的合成磁场有足够的强度，能使所述磁光晶体中的磁化强度饱和。

2、根据权利要求1的光衰减器，其中

所述光衰减器包括一个连接到所述第一和第二衰减器单元的控制电路，所述控制电路具有控制每一个所述第一和第二衰减器单元内所述法拉第转角的装置，使所述第一衰减器内的衰减量波长特性基本上被所述第二衰减器单元内的衰减量波长特性所抵消，并且所述第一和第二衰减器单元在所述光路上级联。

3、按照权利要求1的光衰减器，其中：

所述第一衰减器单元的所述偏振装置包括所述光路上放置的第一偏振器和第二偏振器，以便把所述第一衰减器单元的所述法拉第转子夹在这两个偏振器之间；以及

所述第二衰减器单元的所述偏振装置包括所述光路上放置的第三偏振器和第四偏振器，以便把所述第二衰减器单元的所述法拉

第转子夹在这两个偏振器之间；

所述第一偏振器至第四偏振器中第一个有一根轴，此轴确定偏振光通过偏振器后的偏振面。

4、按照权利要求 3 的光衰减器，其中每个所述法拉第转子包括所述光路穿过的磁光晶体和按照给定电流把可变磁场加到所述磁光晶体上的电磁铁。

5、按照权利要求 4 的光衰减器，其中：

放置的所述第一衰减器单元是使所述第一衰减器单元的衰减量随所述给定电流的增大而增大；和

放置的所述第二衰减器单元是使所述第二衰减器单元的衰减量随所述给定电流的增大而减小。

6、按照权利要求 4 的光衰减器，其中：

所述第一偏振器的轴与所述第二偏振器的轴互相正交；

所述第三偏振器的轴与所述第四偏振器轴互相平行；

每个法拉第转子中所述电磁铁施加的可变磁场大体上与所述光路垂直；以及

每个法拉第转子还包括一块永磁铁，以便把一个固定磁场加到所述磁光晶体上，在所述给定电流为零时，所述法拉第转角大致成 90° 。

7、按照权利要求 4 的光衰减器，其中：

所述第一偏振器的轴与所述第二偏振器的轴互相正交；

所述第三偏振器的轴与所述第四偏振器的轴互相正交；

所述第一衰减器单元内所述电磁铁施加的可变磁场大体上与所述光路垂直；

所述第一衰减器单元的所述法拉第转子还包括一块永磁铁，以便把一个固定磁场加到所述第一衰减器单元内的所述磁光晶体上，在所述给定电流为零时，所述法拉第转角大致成 90° ；以及

所述第二衰减器单元内所述电磁铁施加的可变磁场大体上与所述光路平行。

8、按照权利要求 1 的光衰减器，其中：

所述第一衰减器单元的所述偏振装置包括放置的第一双折射晶体和第二双折射晶体，以便把所述第一衰减器单元的所述法拉第转子夹在这两个双折射晶体之间，和

所述第二衰减器单元的所述偏振装置包括放置的第三双折射晶体和第四双折射晶体，以便把所述第二衰减器单元的所述法拉第转子夹在这两个双折射晶体之间；

在所述第一至第四双折射晶体的每一个中确定的寻常光线和非常光线规定所述光路；

所述光衰减器还包括：

第一光纤，用于沿着所述光路供给光；和

第二光纤，光路上耦合到所述第一光纤，其耦合效率取决于每个法拉第转角。

9、按照权利要求 8 的光衰减器，其中所述第一至第四双折射晶体中的每一个有一根确定所述寻常光线和非常光线的主轴。

10、按照权利要求 9 的光衰减器，其中每个所述法拉第转子包括所述光路穿过的磁光晶体和按照给定电流施加可变磁场到所述磁光晶体上的电磁铁。

11、按照权利要求 10 的光衰减器，其中：

放置的所述第一衰减器单元是使所述第一衰减器单元的衰减量随所述给定电流的增大而增大；和

放置的所述第二衰减器单元是使所述第二衰减器单元的衰减量随所述给定电流的增大而减小。

12、按照权利要求 10 的光衰减器，其中：

所述第一双折射晶体的主轴与所述第二双折射晶体的主轴互相正交；

所述第三双折射晶体的主轴与所述第四双折射晶体的主轴互相平行；

每个法拉第转子中所述电磁铁施加的可变磁场大体上与所述

光路垂直；以及

每个法拉第转子还包括一块永磁铁，以便把一个固定磁场加到所述磁光晶体上，在所述给定电流为零时，所述法拉第转角大致成 90° 。

13、按照权利要求 10 的光衰减器，其中：

所述第一双折射晶体的主轴与所述第二双折射晶体的主轴互相正交；

所述第三双折射晶体的主轴与所述第四双折射晶体的主轴互相正交；

所述第一衰减器单元内所述电磁铁施加的可变磁场大体上与所述光路垂；

所述第一衰减器单元的所述法拉第转子还包括一块永磁铁，以便把一个固定磁场加到所述第一衰减器单元内的所述磁光晶体上，在所述给定电流为零时，所述法拉第转角大致成 90° ；以及

所述第二衰减器单元内所述电磁铁施加的可变磁场大体上与所述光路平行。

14、按照权利要求 8 的光衰减器，其中：

所述第一双折射晶体和所述第二双折射晶体中的每一个包括一块楔形板，其楔角由第一平面所规定；和

所述第三双折射晶体和所述第四双折射晶体中的每一个包括一块楔形板，其楔角由第二平面所规定。

15、按照权利要求 14 的光衰减器，其中所述第一平面与所述第二平面互相不平行。

16、按照权利要求 14 的光衰减器，其中：

所述第一平面与所述第二平面互相平行；以及

所述光衰减器还包括第三光纤，用于光路上连接所述第一衰减器单元和所述第二衰减器单元。

17、按照权利要求 1 的光衰减器，其中所述第一磁场的方向与所述第二磁场的方向在平行于所述光路的平面上互相正交。

18、按照权利要求 1 的光衰减器，其中：

所述磁场施加装置包括分别施加所述第一磁场和所述第二磁场的电磁铁和永磁铁；和

所述磁场调整装置调节所述电磁铁的驱动电流。

19、按照权利要求 18 的光衰减器，其中所述第二磁场的方向大体上与所述光路平行。

20、按照权利要求 2 的光衰减器，其中所述控制装置在所述第一衰减器单元内的所述法拉第转角与所述第二衰减器单元内的所述法拉第转角大致相等的条件下，控制所述第一和第二衰减器单元中每一个的所述法拉第转角。

21、按照权利要求 2 的光衰减器，其中：在所述光衰减器的衰减量相对较大时，所述控制装置在所述第一衰减器单元内的所述法拉第转角与所述第二衰减器单元内的所述法拉第转角大致相等的条件下，控制所述第一和第二衰减器单元中每一个的所述法拉第转角；而在所述光衰减器的衰减量相对校小时，所述控制装置在所述第一衰减器单元内的法拉第转角与所述第二衰减器单元内的法拉第转角各不相同的条件下，控制每个法拉第转角。

22、根据权利要求 1 的光衰减器，其中

所述光衰减器包括一个连接到所述第一和第二衰减器单元的控制电路，所述控制电路具有控制每一个所述第一和第二衰减器单元内所述法拉第转角的装置，使所述第一衰减器单元内的衰减量波长特性和所述第二衰减器单元内的衰减量波长特性之和给出的波长特性具有所希望的倾斜坡度，并且所述第一和第二衰减器单元在所述光路上级联。

23、一种系统，包括：

传输波分多路复用光的光传输线，此波分多路复用光包含多个不同波长的光信号；以及

沿着所述光传输线排列的所述第一衰减器单元和第二衰减器单元；

所述第一和第二衰减器单元中的每一个包括放在一条光路上的法拉第转子和偏振装置，法拉第转子产生一个作为波长函数的法拉第转角，偏振装置产生一个由所述光路上所述法拉第转角确定的衰减量；

每个所述法拉第转子包括所述光路穿过的磁光晶体，磁场施加装置，和磁场调整装置，磁场施加装置用于把不同方向的第一磁场和第二磁场加到所述磁光晶体上，磁场调整装置用于至少改变所述第一磁场和所述第二磁场二者之一；

所述第一和第二磁场是这样设定的，使所述第一磁场与所述第二磁场的合成磁场有足够的强度，能使所述磁光晶体中的磁化强度饱和；

所述第一衰减器单元和第二衰减器单元分别有衰减量的第一波长特性和衰减量的第二波长特性，这两个波长特性各不相同。

24、按照权利要求 23 的系统，其中衰减量的所述第二波长特性大体上与衰减量的所述第一波长特性抵消。

25、一种光放大器，包括：

第一光放大单元；

第二光放大单元；以及

放在所述第一光放大单元与第二光放大单元之间的第一和第二衰减器单元；

所述第一和第二衰减器单元中的每一个包括放在一条光路上的法拉第转子和偏振装置，法拉第转子产生一个作为波长函数的法拉第转角，偏振装置产生一个由所述光路上所述法拉第转角确定的衰减量；

每个所述法拉第转子包括所述光路穿过的磁光晶体，磁场施加装置，和磁场调整装置，磁场施加装置用于把不同方向的第一磁场和第二磁场加到所述磁光晶体上，磁场调整装置用于至少改变所述第一磁场和所述第二磁场二者之一；

所述第一和第二磁场是这样设定的，使所述第一磁场与所述第

二磁场的合成磁场有足够的强度，能使所述磁光晶体中的磁化强度饱和；

所述第一衰减器单元和第二衰减器单元分别有衰减量的第一波长特性和衰减量的第二波长特性，这两个波长特性各不相同。

26、按照权利要求 25 的光放大器，其中衰减量的所述第二波长特性大体上与光衰减量的所述第一波长特性抵消。

27、按照权利要求 25 的光放大器，其中衰减量的所述第一和第二波长特性大体上与所述第二光放大单元输出光的波长特性抵消。

28、一种光放大器，包括：

光放大单元；和

连到所述光放大单元的光衰减器；

所述光衰减器包括第一衰减器单元和第二衰减器单元；

所述第一和第二衰减器单元中的每一个包括放在一条光路上的法拉第转子和偏振装置，法拉第转子产生一个作为波长函数的法拉第转角，偏振装置产生一个由所述光路上所述法拉第转角确定的衰减量；

每个所述法拉第转子包括所述光路穿过的磁光晶体，磁场施加装置，和磁场调整装置，磁场施加装置用于把不同方向的第一磁场和第二磁场加到所述磁光晶体上，磁场调整装置用于至少改变所述第一磁场和所述第二磁场二者之一；

所述第一和第二磁场是这样设定的，使所述第一磁场与所述第二磁场的合成磁场有足够的强度，能使所述磁光晶体中的磁化强度饱和；

所述第一衰减器单元和第二衰减器单元分别有衰减量的第一波长特性和衰减量的第二波长特性，这两个波长特性各不相同。

29、按照权利要求 28 的光放大器，其中衰减量的所述第二波长特性大体上与衰减量的所述第一波长特性抵消。

30、一种终端设备，包括：

多个 E/O 转换器，分别输出有不同波长的光信号；

多个电平调整单元，分别调节所述 E/O 转换器输出的所述光信号电平；和

光学多路复用器，波分复用从所述电平调整单元输出的所述光信号，以获得波分复用光；

每个所述电平调整单元包括各自给出可变衰减量的第一衰减器单元和第二衰减器单元；

所述第一和第二衰减器单元中的每一个包括放在一条光路上的法拉第转子和偏振装置，法拉第转子产生一个作为波长函数的法拉第转角，偏振装置产生一个由所述光路上所述法拉第转角确定的衰减量；

每个所述法拉第转子包括所述光路穿过的磁光晶体，磁场施加装置，和磁场调整装置，磁场施加装置用于把不同方向的第一磁场和第二磁场加到所述磁光晶体上，磁场调整装置用于至少改变所述第一磁场和所述第二磁场二者之一；

所述第一和第二磁场是这样设定的，使所述第一磁场与所述第二磁场的合成磁场有足够的强度，能使所述磁光晶体中的磁化强度饱和；

所述第一衰减器单元和第二衰减器单元分别有衰减量的第一波长特性和衰减量的第二波长特性，这两个波长特性各不相同。

31、一种终端设备，包括：

多个 E/O 转换器，分别输出有不同波长的光信号；

多个电平调整单元，分别调节所述 E/O 转换器输出的所述光信号电平；

光学多路复用器，波分复用从所述电平调整单元输出的所述光信号，以获得波分复用光；

光放大器，放大所述光学多路复用器输出的所述波分复用光；

所述光放大器包括光放大单元和连接到所述光放大单元的光衰减器；

所述光衰减器包括各自给出可变衰减量的第一衰减器单元和第二衰减器单元；

所述第一和第二衰减器单元中的每一个包括放在一条光路上的法拉第转子和偏振装置，法拉第转子产生一个作为波长函数的法拉第转角，偏振装置产生一个由所述光路上所述法拉第转角确定的衰减量；

每个所述法拉第转子包括所述光路穿过的磁光晶体，磁场施加装置，和磁场调整装置，磁场施加装置用于把不同方向的第一磁场和第二磁场加到所述磁光晶体上，磁场调整装置用于至少改变所述第一磁场和所述第二磁场二者之一；

所述第一和第二磁场是这样设定的，使所述第一磁场与所述第二磁场的合成磁场有足够的强度，能使所述磁光晶体中的磁化强度饱和；

所述第一衰减器单元和第二衰减器单元分别有衰减量的第一波长特性和衰减量的第二波长特性，这两个波长特性互相不同。

光衰减器及分别有光衰减器的系统， 光放大器和终端设备

技术领域

本发明涉及有两个法拉第转子的光衰减器，更具体地是，本发明涉及光衰减器以及各自有光衰减器的系统，光放大器和终端设备。

背景技术

在构成光通信系统时，有这样一种情况，光衰减器用于调节给光放大器这一类光学器件的光功率。在这类光衰减器的一个例子中，利用机械操作方法改变衰减量，例如，把一个有衰减量分布的衰减膜插入光路中，通过机械地移位方法，从而调节衰减量。

在某些情况下，实际的要求是把光衰减器合并到系统中，以便由光衰减器控制衰减量。例如，在掺铒光纤放大器（EDFA）中，放大的光信号提供给光衰减器，利用监测到的输出电平值给出反馈控制的衰减量，从而保持恒定的输出电平。在这种情况下，使用机械操作方法调节衰减量的光衰减器，对提高系统的可靠性是不可取的。

鉴于这一事实，本发明者已提出过实际中极好的光衰减器，这种光衰减器没有机械可移动部（例如，日本专利申请，N.4-205044）。这种光衰减器有一个法拉第转子，其法拉第转角随加到电磁铁上电流的变化而变化，通过调节法拉第转角设定衰减量。

人们希望光衰减器对输入光给出一个与光波长无关的均匀衰减量。然而，在法拉第转子有波长特性的情况下，即，在法拉第转角随波长而变化的情况下，衰减量随波长而变化，所以衰减量的波长特性变成不平坦了。若是有衰减量为不平坦但波长特性的光衰减器加入到波分多路复用系统中，各个信道之间光信号衰减量就不同，引起这样一个问题，各信道之间信号功率有偏差。

此外，人们也希望光衰减器的衰减量波长特性可以任意地设置，以抵消出现在，例如 EDFA 中的增益倾斜（增益随波长而变化的一种性质）。

发明内容

所以，本发明一个目的是提供这样一种光衰减器，它具有衰减量为平坦的波长特性。

本发明另一个目的是提供这样一种光衰减器，它具有衰减量可调节的波长特性。

本发明第三个目的是提供一个各自有这种光衰减器的系统，光放大器，和终端设备。

按照本发明的第一方面，提供一个含第一和第二衰减器单元的光衰减器以及控制电路，第一衰减器单元与第二衰减器单元级联在光路上，控制电路连接到第一和第二衰减器单元。第一和第二衰减器单元中的每一个包括放在光路上的法拉第转子。法拉第转子产生一个作为波长函数的法拉第转角。第一和第二衰减器单元中的每一个还包括偏振装置，用于产生该光路上法拉第转角确定的衰减量。尤其是在按照本发明第一方面的光衰减器中，控制电路包括控制装置，以控制第一和第二衰减器单元中每一个的法拉第转角，使第一衰减器单元中衰减量的波长特性大体上被第二衰减器单元中衰减量的波长特性所抵消。每个所述法拉第转子包括所述光路穿过的磁光晶体，磁场施加装置，和磁场调整装置，磁场施加装置用于把不同方向的第一磁场和第二磁场加到所述磁光晶体上，磁场调整装置用于至少改变所述第一磁场和所述第二磁场二者之一；所述第一和第二磁场是这样设定的，使所述第一磁场与所述第二磁场的合成磁场有足够的强度，能使所述磁光晶体中的磁化强度饱和。

借助这种结构，虽然每个法拉第转子产生的转角是波长的函数，但是，由于控制电路的作用，总衰减量的波长特性大致上是平坦的。

在按照本发明第二方面的光衰减器中，控制电路包括控制装置，以控制第一和第二衰减器单元中每一个的法拉第转角，使第一衰减器单元中衰减量的波长特性与第二衰减器单元中衰减量的波长特性之和给出的波长特性具有所希望的倾斜度。借助这种结构，可以自由地调节总衰减器的波长特性。

按照本发明的第三方面，提供一个含第一和第二衰减器单元的光衰减器，每个衰减器单元给一个可变的衰减量；第一衰减器单元和

第二衰减器单元分别有衰减量的第一波长特性和衰减量的第二波长特性，这两个波长特性各不相同。

按照本发明的第四方面，提供一个包括光传输线以及沿此传输线排列的第一和第二衰减器单元的系统，光传输线用于传输含多个不同波长光信号的波分多中复用光，第一衰减器单元和第二衰减器单元各自给出可变的衰减量，并且分别有衰减量的第一波长特性和衰减量的第二波长特性，这两个波长特性各不相同。

按照本发明的第五方面，提供一个包括第一光放大单元，第二光放大单元，以及在第一光放大单元与第二光放大单元之间第一和第二衰减器单元的光放大器；第一衰减器单元和第二衰减器单元各自给出可变的衰减量，并且分别有衰减量的第一波长特性和衰减量的第二波长特性，这两个波长特性各不相同。

按照本发明的第六方面，提供一个包括光放大单元和连接到此光放大单元输出的光衰减器的光放大器；第一衰减器单元和第二衰减器单元各自给出可变的衰减量，并且分别有衰减量的第一波长特性和衰减量的第二波长特性，这两个波长特性各不相同。

按照本发明的第七方面，提供一个包括光放大单元和连到此光放大单元输入的光衰减量的光放大器；光衰减器包括各自有可变衰减量的第一和第二衰减器单元；第一衰减器单元和第二衰减器单元分别有衰减量的第一波长特性和衰减量的第二波长特性，这两个波长特性各不相同。

按照本发明的第八方面，提供一个包括多个 E/O 转换器，多个电平调整单元，和光学多路复用器的终端设备；多个 E/O 转换器分别输出不同波长的光信号，多个电平调整单元分别调节从 E/O 转换器输出的光信号电平，而光学多路复用器用于波分多路复用从电平调整单元输出的光信号，以得波分多路复用光；每个电平调整单元包括各自可变衰减量的第一和第二衰减器单元，第一衰减器单元和第二衰减器单元分别有衰减量的第一波长特性和衰减量的第二波长特性，这两个波长特性各不相同。

按照本发明的第九方面，提供一个包括多个 E/O 转换，多个电平调整单元，一个光学多路复用器，和一个光放大器的终端设备；多

个 E/O 转换器分别输出不同波长的光信号，多个电平调整单元分别调节从 E/O 转换器输出的光信号电平，光学多路复用器用于波分多路复用从电平调整单元输出的光信号，以得到波分多路复用光，而光放大器用于放大从光学多路复用器输出的波分多路复用光；光放大器包括光放大单元和连到此光放大单元的光衰减器；光衰减器包括各自有可变衰减量的第一和第二衰减器单元；第一衰减器单元和第二衰减器单元分别有衰减量的第一波长特性和衰减量的第二波长特性，这两个波长特性各不相同。

通过对以下描述和所附权利要求书的研究，并结合参照展示本发明几个优选实施例的附图，本发明的上述和其他目的，特征和优点，以及达到这些目的的方法会变得更加显而易见，对此发明本身也理解得更深刻。

附图说明

图 1 是按照本发明第一个优选实施例的光衰减器图；

图 2 是应用于本发明一个优选实施例的法拉第转子图；

图 3 说明图 2 所示法拉第转子中法拉第转角变化的原理；

图 4 是一曲线图，表示图 1 所示两个衰减器中每一个的衰减量与驱动电流之间关系；

图 5 是一曲线图，说明法拉第转角的波长特性一个例子；

图 6 说明图 1 所示光衰减器中每个法拉第转角波长特性的影响；

图 7A 和 7B 是曲线图，说明图 1 所示两个衰减器单元中衰减量的波长特性变化；

图 8 是一方框图，表示应用于本发明一个优选实施例的控制电路；

图 9 是按照本发明第二个优选实施例的光衰减器图；

图 10 是按照本发明第三个优选实施例的光衰减器图；

图 11 是按照本发明第四个优选实施例的光衰减器图；

图 12 是按照本发明第五个优选实施例的光衰减器图；

图 13 是一曲线图，说明图 12 所示光衰减器中衰减量波长特性的测量结果；

图 14A 至 14D 是曲线图，说明图 12 所示光衰减器中总衰减量的波长特性的测量结果；

图 15 是按照本发明第六个优选实施例的光衰减器图；

图 16 是按照本发明第七个优选实施例的光衰减器图；

图 17 是一方框图，表示按照本发明一个优选实施例的系统；

图 18A 至 18C 是三个方框图，表示按照本发明几个优选实施例的光放大器；以及

图 19 是一方框图，表示按照本发明一个优选实施例的终端设备。

具体实施方式

现在参照附图详细地描述本发明的几个优选实施例。在所有的附图中，基本上相同的部件用相同的参考数字表示，在方向和其他量需要明确的情况下，采用互相正交的 X 轴，Y 轴和 Z 轴规定的三维座标系统。

图 1 是按照本发明第一个优选实施例的光衰减器图。这个光衰减器包括光路上级联的两个衰减器单元 AU1 和 AU2，以及连到单元 AU1 和 AU2 的控制电路 2。衰减器单元 AU1 和 AU2 中的每一个包括法拉第转子 FR 和偏振单元 PU，法拉第转子 FR 对沿着光路 OP 传播的光给出一个可变的法拉第转角，而偏振单元 PU 产生一个由法拉第转角决定的衰减量。

在这个优选实施例中，衰减器单元 AU1 中偏振单元 PU 是由光路 OP 上放置的偏振器 4 和偏振器 6 组成的，而衰减器单元 AU2 中偏振单元 PU 是由光路 OP 上放置的偏振器 8 和偏振器 10 组成的。偏振器 4，6，8 和 10 分别有轴 4A，6A，8A，和 10A，每个轴决定线偏振光通过偏振器的偏振面。在此优选实施例中，轴 4A 平行于 Y 轴，轴 6A，8A，和 10A 平行于 X 轴。

首先，简要地描述图 1 所示光衰减器的运行原理。当衰减器单元 AU1 中法拉第转子 FR 给出的法拉第转角为 90° 时，由于轴 4A 与轴 6A 互相正交，衰减器单元 AU1 的衰减量最小。当衰减器单元 AU2 中法拉第转子 FR 给出的法拉第转角为 0° 时，由于轴 8A 与轴 10A 互相平行，衰减器单元 AU2 的衰减量为最小。因此，这个光衰减器的总衰减量为最小。

在广义上说， 90° 的法拉第转角包括 $90^\circ + n \cdot 180^\circ$ (n 是整数)， 0° 的法拉第转角包括 $m \cdot 180^\circ$ (m 是整数)。

当衰减器单元 AU1 中法拉第转子 FR 给出的法拉第转角接近 0° 时，且当衰减器单元 AU2 中法拉第转子 FR 给出的法拉第转角接近 90° 时，这个光衰减器的总衰减量为最大。

参照图 2，其中画出每个法拉第转子 FR 的具体结构。图 2 所示法拉第转子 FR 有一块磁光晶体 12，光路 OP 从其中通过。

一般来说，在某个磁场加到磁光晶体 12 的条件下，即，在磁光晶体 12 放置在某个磁场的条件下，当线偏振光通过磁光晶体 12 时，此线偏振光的偏振方向总是朝相同的方向旋转，而与线偏振光的传播方向无关。

此处用到的术语“偏振方向”定义为包含线振偏光电场矢量的平面到垂直于传播方面平面的投影。

偏振方向旋转这一现象称之为法拉第旋转，偏转方向旋转的角度大小（法拉第转角）取决于所加磁场产生的磁光晶体 12 磁化方向和磁化强度（幅度）。更具体些说，法拉第转角是由磁光晶体 12 的磁化强度在光传播方向的分量所决定的。

因此，利用磁光晶体 12 和在与光传播方向相同的方向上把磁场加到磁光晶体 12 上的手段，以及通过调节所加磁场，可以有效地调节法拉第转角。然而，此处应当考虑到，当所加磁场的幅度相对地较小时，所加磁场引起的磁光晶体 12 磁化强度没有达到饱和状态，在磁光晶体 12 中就存在许多磁畴。这样多磁畴的存在破坏了法拉第转角的重复性，或者，即使保证了很好的重复性，也很难使法拉第转角连续地变化。此外，当磁光晶体 12 中存在许多磁畴时，由于磁畴之间界面处的光散射，不利于实际中应用。

在考虑到上述情况的这个优选实施例中，具有不同方向的第一磁场和第二磁场加到磁光晶体 12 上，至少改变第一磁场和第二磁场其中之一，从而改变所得到的法拉第转角。而且，第一磁场和第二磁场是这样设定的，使其合成磁场的强度足以使磁光晶体 12 的磁化强度饱和。磁光晶体 12 中磁化强度已经符合要求的条件可以理解为磁光晶体 12 中存在的许多磁畴已经变成单个磁畴的条件。在磁光晶体 12 中磁化强度饱和的状态下，通过至少改变第一磁场和第二磁场其中之一，法拉第转角就能连续地变化，从而避免由于

磁畴之间界面处光散射出现的损耗。此外，也可以有令人满意的法拉第转角重复性。

最好是，所加第一磁场和第二磁场是平行于光路 OP 的平面上构成互相正交的方向，为的是可以有效的改变法拉第转角。

在图 2 所示的优选实施例中，放了一对永磁铁 14，使其与磁光晶体 12 的上、下表面相对，为的是把平行于 Z 轴的固定磁场 FM（见图 1）加到磁光晶体 12 上。此外，放了一个电磁铁 16，使其与磁光晶体 12 的右侧面和左侧面相对，为的是把平行于 X 轴的可变磁场 VM（见图 1）加到磁光晶体 12 上。电磁铁 16 的线圈 18 连接到可变电流源 20。供给电磁铁 16 的驱动电流是由可变电流源 20 调节，从而改变磁光晶体 12 的磁化方向，相应地改变法拉第转角。

磁光晶体 12 的实例包括钇铁石榴石（YIG）薄片和外延生长 $(\text{GdBi})_3(\text{FeAlGa})_5\text{O}_{12}$ 晶体。

在图 2 所示优选实施例中所加固定磁场 FM 平行于光路 OP 和所加可变磁场 VM 垂直于光路 OP 的理由是，把磁场加在垂直于光路 OP 的方向比把磁场加在平行于光路 OP 的方向容易些，所以希望把电磁铁 16 复合体放在较容易加磁场的方位。

图 3 是利用图 2 所示法拉第转子 FR 说明法拉第转角变化的原理。关于加到磁光晶体 12 上磁场方向和强度的矢量表示，以及磁光晶体 12 磁化强度的矢量表示，图 3 中的竖直轴和水平轴分别对应于 Z 轴和 X 轴。

在电磁铁 16 的驱动电流基本上为零和只有永磁铁 14 的固定磁场 FM 加到磁光晶体 12 的情况下，磁光晶体 12 的磁化方向平行于 Z 轴，如参考数字 22 所示。固定磁场 FM 的强度是这样设定的，在只在固定磁场 FM 时能使磁光晶体 12 的磁化强度饱和。在此优选实施例中，当只加上固定磁场 FM 时，法拉第转角成为 90° 。

当由电磁铁 16 将平行于 X 轴的可变磁场 VM 加上时，其合成磁场是由固定磁场 FM 和可变磁场 VM 合成矢量给出，如参考数字 24 所示。这个合成磁场 24 在磁光晶体 12 中产生一个参考数字 26

表示的磁化强度。磁化强度 26 的方向平行于合成磁场 24 的方向，磁光晶体 12 中的磁化强度是饱和的。所以，磁化强度 26 的大小（磁化矢量的长度）等于磁化强度 22 的大小（磁化矢量的长度）。

虽然磁光晶体 12 中的磁化强度是固定的，但是，磁化强度对磁光晶体 12 中法拉第转角的贡献程序是不同的，因为，法拉第转角也取决于磁化方向与光传播方向之间关系。就是说，在比较磁化强度 22 状态与磁化强度 26 状态时，磁化强度 26 的 Z 轴分量 28 小于磁化强度 22 的 Z 轴分量（磁化强度 22 自身）。因此，相应于磁化强度 26 的法拉第转角小于相应于磁化强度 22 的法拉第转角。

更具体些说，在图 2 所示法拉第转子 FR 中，电磁铁 16 的驱动电流从 0 变化到最大值过程中，法拉第转角从 90° 减小至 0° 。

图 4 是一曲线图，表示衰减量与图 1 所示衰减器单元 AU1 和衰减器单元 AU2 中电磁铁 16 驱动电流之间关系，在衰减器单元 AU1 中，轴 4A 与轴 6A 互相垂直，以及电磁铁 16 的可变磁场 VM 是以垂直于 Z 轴的方向加上的。所以，衰减量随电磁铁 16 驱动电流的增加而增大。另一方面，在衰减器单元 AU2 中，轴 8A 与轴 10A 互相平行，以及电磁铁 16 的可变磁场 VM 是以垂直于 Z 轴的方向加上的，所以，衰减量随电磁铁 16 驱动电流的增加而减小。

现在，通过这两个衰减器 AU1 与 AU2 的组合，描述衰减量波长特性变平坦的原理。

图 5 是一曲线图，说明某个磁光晶体中磁化强度饱和时，法拉第波长特性的一个例子。在图 5 中，垂直轴代表法拉第转角（度/cm），水平轴代表给出法拉第转角的光波长（ μm ）。在这个磁光晶体的例子中，单位长度的法拉第转角随波长的增大而减小。

参照图 6，在磁光晶体 12 具有图 5 所示特性的条件下，描述图 1 所示光衰减器中每个法拉第转角对波长特性的影响。假设电磁铁 16 中的驱动电流这样设定，对于波长为 λ_2 的光给衰减器单元 AU1 提供的法拉第转角成 45° 。在此情况下，对于比波长 λ_2 长的波长为 λ_1 的光，给出的法拉第转角就小于 45° ；对于比波长 λ_2 短的波长为 λ_3 的光，给出的法拉第转解就大于 45° 。

在衰减器单元 AU1 中, 衰减量随法拉第轴角从 90° 减小至 0° 而增大, 因此, 若用 a_1 (dB), a_2 (dB), 和 a_3 (dB) 分别表示具有波长为 λ_1 , λ_2 , 和 λ_3 光在衰减器单元 AU1 中的衰减量, $a_3 < a_2 < a_1$ 成立。

与此相反, 在衰减器单元 AU2 中, 衰减量随法拉第转角从 90° 减小至 0° 而减小。因此, 当法拉第转角的波长特性基本上在线性范围内时, 具有波长为 λ_1 , λ_2 , 和 λ_3 光的衰减量分别为 a_3 (dB), a_2 (dB), 和 a_1 (dB)。

按照这一工作方式, 在法拉第转角的波长特性具有图 5 所示负坡度情况下, 衰减量随衰减器单元 AU1 中波长的增大而增大, 此单元中衰减量随电磁铁 16 驱动电流的增加而增大; 而衰减量随衰减器单元 AU2 中波长的增大而减小, 此单元中衰减量随电磁铁 16 驱动电流的增加而减小。

图 7A 和 7B 是两个曲线图, 分别表示衰减器单元 AU1 和 AU2 中衰减量的波长特性变化。在衰减器单元 AU1 中, 如图 7A 所示, 随着电磁铁 16 驱动电流的增加, 衰减量的波长特性正向倾斜趋势更加强。另一方面, 在衰减器单元 AU2 中, 如图 7B 所示, 随着驱动电流的增加, 衰减量的波长特性负向倾斜趋势更加强。

令 θ_{F1} 表示衰减器单元 AU1 中法拉第转角, 衰减器单元 AU1 中的衰减量 (dB) 是由以下表达方式给出。

$$10 \cdot \log[\text{Sin}^2\theta_{F1}]$$

因此, 由波长增量 $\Delta\lambda$ 引起的传输光功率变化由以下式子表示。

$$- \text{Sin}2\theta_{F1}\text{Sin}(K\theta_{F1}\Delta\lambda)$$

其中 K 是对法拉第的波长特性作了初步近似的系数。

另一方面, 令 θ_{F2} 表示衰减器单元 AU2 中法拉第转角, 衰减器单元 AU2 中的衰减量(dB)是由以下式给出

$$10 \cdot \log [\text{Sin}^2(90^\circ - \theta_{F2})]$$

因此, 由波长增量 $\Delta\lambda$ 引起的传输光功率变化由以下式子表示

$$\text{Sin}2\theta_{F2}\text{Sin}(K\theta_{F2}\Delta\lambda)$$

所以, 给出以下方程式解的一群组合 (θ_{F1} , θ_{F2}) 提供了这样

的条件，其中衰减器单元 AU1 中的衰减量波长特性大体上被衰减器单元 AU2 中的衰减量波长特性所抵消，此方程式为：

$$\sin 2\theta_{F1} \sin(K\theta_{F1}\Delta\lambda) + \sin 2\theta_{F2} \sin(K\theta_{F2}\Delta\lambda) = 0$$

例如，控制衰减器单元 AU1 中的法拉第转角和衰减器单元 AU2 中的法拉第转角，在这两个法拉第转角大致相等的条件下，图 1 所示光衰减器中总衰减量的波长特性可以变得平坦。

或者，在总衰减量相对较大的情况下，即，在图 4 所示两条曲线交点以上两个衰减量之和为总衰减量的情况下，可以控制每个法拉第转角，使衰减器单元 AU1 中的衰减量与衰减器单元 AU2 中的衰减量相等，而在总衰减量相对较小的情况下，即，在两条曲线交点以下两个衰减量之和为总衰减的情况下，可以控制每个法拉第转角，使衰减器单元 AU1 中的衰减量与衰减器单元 AU2 中的衰减量不同。

现在，参照图 8，描述适合于这种灵活控制的控制电路 2 具体结构。

图 8 是一方框图，表示一个优选实施例的控制电路 2。在此优选实施例中，控制电路 2 包括：CPU（中央处理单元）30，用于完成计算等工作，根据控制输入决定每个电磁铁 16 的驱动电流，以提供所需的衰减量；RAM（随机存储器）32，用于暂时存储计算结果等数据；ROM（只读存储器）34，事先存储计算所需的程序，数据，等等；以及 I/O 端口 36，用于输入和输出数据。CPU 30，RAM 32，ROM 34，和 I/O 端口 36 用数据总线 38 互连。

存储在 ROM 34 中的是数据表，代表先前得的上述方程一组解与根据这些解得到的衰减量之间关系。当所需总衰减量由控制输入给出时，CPU 30 衰选取获得此衰减量的解，把衰减量 AU1 和 AU2 中的法拉第转角设定成满足此解。更具体些说，从 I/O 端口 36 输出的数字数据 D/A 转换器 40 和 42 转换成模拟控制信号，接着这两个控制信号分别提供给衰减器单元 AU1 和 AU2 中的可变电流源 20。因此，每个电磁铁 16 的驱动电流设置成实现法拉第转角的组

合，以获得的需的衰减量。

例如，在减小总衰减量的情况下，衰减器单元 AU1 中的电磁铁 16 在衰减器单元 AU1 中的法拉第转角接近 90° 的区域内被驱动，而衰减量 AU2 的电磁铁 16 在衰减器单元 AU2 中的法拉第转角接近于 0° 的区域内被驱动。

按照这一工作方式，在这个优选实施例中，控制电路 2 控制每个法拉第转角，使衰减器单元 AU1 中的衰减量波长特性基本上被衰减器单元 AU2 中的衰减量波长特性所抵消，所以总衰减量的波长特性可以是平坦的。

图 9 是按照本发明第二实施例的光衰减器图。这个优选实施便的特征是，改型的法拉第转子 FR' 和偏振器 10' 用来替代图 1 所示第一个优选实施例衰减器单元 AU2 中的法拉第转子 FR 和偏振器 10。虽然没有画出法拉第转子 FR' 的内部结构，但改型的方式是这样的，可变磁场 VM 设置成平行于光路 OP，固定磁场 FM 设置成垂直于光路 OP。而且，偏振器 10' 有一个平行于 Y 轴的轴 10A'。

还是根据这种结构，衰减器单元 AU2 的衰减量随衰减器单元 AU2 中电磁铁驱动电流的增加而减小，因此，根据类似于图 1 所示第一个优选实施例的原理，衰减器单元 AU1 中的衰减量波长特性基本上被衰减器单元 AU2 中的衰减量波长特性所抵消，从而使总衰减量的波长特性变得平坦。

图 10 是按照本发明第三个优选实施例的光衰减器图，这个优选实施例的特征是，改型的偏振器 10' 用来替代图 1 所示第一个优选实施例衰减器单元 AU2 中的偏振器 10。偏振器 10' 有一个平行于 Y 轴的轴 10A'。轴 8A 与 10A' 互相正交，轴 4A 与 6A 也互相正交。衰减器单元 AU1 中的法拉第转子 FR 与衰减器单元 AU2 中的相同，所以，衰减器单元 AU1 与 AU2 的运行很相似。

就是说，在衰减器单元 AU1 和 AU2 中，衰减量都是随电磁铁 16 驱动电流的增加而增大。而且，在衰减器单元 AU1 和 AU2 中，衰减量波长特性的正向倾斜趋势都随驱动电流的增加而更加强

烈，如图 7A 所示。

所以，通过改变控制电路 2 的运行方式，衰减器单元 AU1 中的衰减量波长特性与衰减器单元 AU2 中的衰减量波长特性之和给出的波长特性能够设置成具有所需要的倾斜坡度。即，按照这个优选实施例，可容易地调节总衰减量的波长特性。此外，由于两个类似运行的衰减器单元 AU1 和 AU2 是级联的，可以扩展总衰减量波长特性的调节动态范围。

为了容易了解衰减器单元 AU1 和 AU2 的结构和工作原理，在上述每个优选实施例中偏振器 6 和偏振器 8 表示为分开的元件，但由于轴 6A 与 8A 互相平行，可以省去偏振器 6 和 8 中任一个偏振器。此外，在光衰减器是按照这样方式运行的情况下，即，光沿着光路 OP 按照衰减器单元 AU1 和 AU2 这个顺序通过衰减器单元，且输入到衰减器单元 AU1 的光是具有平行于 YZ 平面偏振面的线偏振光，也可省去偏振器 4。

现在，描述实际使用中极其优良的本发明几个优选实施例。在以下每个优选实施例中，特定的双折射晶体组合在一起且光路上安排成衰减量与入射光的偏振态无关。

图 11 是按照本发明第四个优选实施例的光衰减器图。这个优选实施例的特征是，双折射晶体楔形板 44，46，48 和 50 用来替代图 1 所示的偏振器 4，6，8，和 10。另外还有光纤 52 和透镜 54，各用于输入光束；透镜 56，光纤 58，和透镜 60，各用于光学耦合衰减器单元 AU1 与 AU2；以及透镜 62 和光纤 64，各用于输出光束。连接光纤 52 和 58 的光路是由每个楔形板 44 和 46 中规定的寻常光线和非常光线给出的，连接光纤 58 和 64 的光路是由每个楔形板 48 和 50 中规定的寻常光线和非常光线给出的。

借助这种结构，连接光纤 52 和 58 光路中的衰减量是由衰减器单元 AU1 法拉第转子 FR 中的法拉第转角所确定，连接光纤 58 和 64 光路中的衰减量是由衰减器单元 AU2 法拉第转子 FR 中的法拉第转角所确定。因此，输出光纤 64 光路上耦合到输入光纤 52，其耦合系数由每个法拉第转角决定，从而获得所需要的总衰减量。

每个楔形板 44 和 46 有一个定义在第一平面上的楔角，而每个楔形板 48 和 50 有一个定义在第二平面上的楔角。在这个优选实施例中，第一平面和第二平面与 YZ 平面平行。

楔形板 44 和 46 分别有主轴 44A 和 46A，每个主轴用于确定寻常光线和非常光线。与此类似，楔形板 48 和 50 分别有主轴 48A 和 50A，每个主轴用于确定寻常光线和非常光线。在这个优选实施例中，主轴 44A 与 X 轴平行，主轴 46A，48A，和 50A 与 Y 轴平行。

楔形板 44 和 46 有相同的形状，它们是这样安排的，楔形板 44 的顶部和底部分别与楔形板 48 的底部和顶部相对，楔形板 44 和 46 的两个对应面互相平行。

类似地，楔形板 48 和 50 有相同的形状，它们是这样安排的，楔形板 48 的顶部和底部分别与楔形板 50 的底部和顶部相对，楔形板 48 和 50 的两个对应面互相平行。

从光纤 52 光纤端部 52A 射出的光被透镜 54 准直后成为一平行光束。此光束用参考数字 102 表示，光束厚度忽略不计。光束 102 在楔形板 44 中被分成对应于寻常光线的光束 104 和对应于非常光线的光束 106。光束 104 和 106 在法拉第转子 FR 中经受法拉第旋转，以相同的方向转过相同的法拉第转角，分别成为光束 108 和 110。光束 108 在楔形板 46 中被分成对应于寻常光线的光束 112 和对应于非常光线的光束 114。光束 110 在楔形板 46 中被分成对应于非常光线的光束 116 和对应于寻常光线的光束 118。

考虑到光束 112，114，116 和 118 过去的折射经历以及楔形板 44 和 46 的形状和安排，光束 112 和 116 互相平行，而光束 114 与 118 不平行。所以，互相平行的光束 112 和 116 能够被透镜 56 会聚，进入光纤 58 的光纤端面 58A。另一方面，不平行的光束 114 和 118 偏离了光路，不能进入光纤端面 58A。

衰减器单元 AU1 中的衰减量相当于光束 112 和 116 总功率与光束 102 功率之比率。例如，在衰减器单元 AU1 中法拉第转子 FR 的法拉第转角为 90° 情况下，光束 104 的功率原则上完全转移成光

束 112 的功率，而光束 106 的功率原则上完全转移成光束 116 的功率。所以，衰减器单元 AU1 中的衰减量最小。在法拉第转子 FR 的法拉第转角为 0° 情况下，光束 104 的功率原则上完全转移成光束 114 的功率，而光束 106 的功率原则上完全转移成光束 118 的功率，所以，衰减器单元 AU1 中的衰减量最大。因此，衰减器单元 AU1 中得到了按照法拉第转子 FR 中法拉第转角的衰减量。

当法拉第转角为恒定时，光束 112 和 116 的总功率也恒定，与光束 102 的偏振态无关。所以，衰减器单元 AU1 中的衰减量不取决于光束 102（即，输入光束）的偏振态。

进入光纤 58 光纤端面 58A 的光从光纤 58 的另一端面 58B 射出，接着，被透镜 60 准直成平行光束。此光束用参考数字 122 表示，光束厚度忽略不计。光束 122 在楔形板 48 中被分成对应于寻常光线的光束 124 和对应于非常光线的光束 126。光束 124 和 126 在衰减器单元 AU2 的法拉第转子 FR 中经受法拉第旋转，以相同的方向转过相同的法拉第转角，分别成为光束 128 和 130。光束 128 在楔形板 50 中被分成对应于寻常光线的光束 132 和对应于非常光线的光束 134。光束 130 在楔形板 50 中被分成对应于非常光线的光束 136 和对应于寻常光线的光束 138。

在考虑到与衰减器单元 AU1 的类似性，光束 132 和 136 进入光纤 64 的光纤端面 64A，而光束 134 和 138 偏离了光路，不能进入光纤端面 64A。

如同在衰减器单元 AU1 中一样，衰减器单元 AU2 中的衰减量与输入光束（光束 122）的偏振态无关。然而，同主轴 44A 与 46A 互相垂直这一事实形成对照，由于轴 48A 与 50A 互相平行，衰减器单元 AU2 中衰减量随法拉第转角变化而变化的趋势与衰减器单元 AU1 中的相反。

例如，在衰减器单元 AU2 中法拉第转角为 90° 情况下，光束 124 的功率原则上完全转移成光束 134 的功率，而光束 126 的功率原则上完全转移成光束 138 的功率。所以，衰减器单元 AU2 中的衰减量最大，在衰减器单元 AU2 中法拉第转角为 0° 情况下，光束

124 的功率原则上完全转移成光束 132 的功率，而光束 126 的功率原则上完全转移成光束 136 的功率，所以，衰减器单元 AU2 中的衰减量最小。

所以，控制电路 2 按照类似于图 1 所示第一个优选实施例的方式工作，衰减器单元 AU1 中的衰减量波长特性基本上被衰减器单元 AU2 中的衰减量波长特性所抵消，从而使光衰减器中总衰减量的波长特性变得平坦。因此，按照这个优选实施例，就可能提供这样一个光衰减器，它具有平坦的衰减量波长特性以及衰减量与输入光束偏振态无关的偏振独立性。

在图 11 所示第四个优选实施例中，利用光纤 58 以及透镜 56 和 60 把衰减器单元 AU1 与 AU2 光路上连接起来是鉴于以下理由。即，在衰减器单元 AU1 与 AU2 之间没有光纤 58 以及透镜 56 和 60 而利用空间光束进行光路连接的情况下，光束 112 和 116 的部分或全部功率就会转移成光束 132 和 136 的功率，而偏离光路的光束 114 或 118 功率可能转移成光束 132 和 136 的功率，所以，不可能获得所需要的衰减量。这种不需要的重新组合主要是以下事实造成的，即，规定楔形板 44 和 46 楔角的第一平面平行于规定楔形板 48 和 50 楔角的第二平面。因此，通过第一平面和第二平面中一个平面相对于另一个平面围绕 Z 轴的旋转，从而使第一平面与第二平面不平行，可以省去光纤 58 以及透镜 56 和 60 以抑制光衰减器中的插入损耗。例如，可以使第一平面与第二平面互相垂直，下面描述这种结构的一个具体实例。

图 12 是按照本发明第五个优选实施例的光衰减器图。与图 11 所示第四个优选实施例对照，第五个优选实施例的特征是，楔形板 44 和 46 围绕 Z 轴转过 90° ，从而可省去图 11 所示的光纤 58 以及透镜 56 和 60。因此，规定楔形板 48 和 50 楔角的平面与 YZ 平面平行，而规定楔形板 44 和 46 楔角的平面与 XZ 平面平行。此外，主轴 44A 平行于 Y 轴，主轴 46A 平行于 X 轴。

此光衰减器的运行原理细节，包括衰减器单元 AU1 和 AU2 中每一个的衰减量是由每个法拉第转角所决定这一事实在内，可以按

照图 11 所示第四个优选实施例的运行原理来理解，所以，此处省去了对此实施例的描述。

按照图 12 所示第五个优选实施例，也可以提供一个具有平坦衰减量波长特性和偏振独立性的光衰减器，偏独立性是指衰减量与输入光束的偏振态无关。此外，按照图 12 所示第五个优选实施例，由于省去了图 11 所示第四个优选实施例中所用的光纤 58 以及透镜 56 和 60，可以减小此光衰减器中的插入损耗。

图 13 是一曲线图，表示图 12 所示衰减器单元 AU1 中衰减量波长特性的测量结果。在图 13 中，垂直轴代表衰减量的偏差 (dB)，水平轴代表波长 (nm)。在衰减器单元 AU1 中，主轴 44A 与 46A 互相垂直。因此，随着法拉第转子 FR (见图 2) 中电磁铁 16 驱动电流从零开始增加，所得到的法拉第转角从 90° 朝向 0° 减小。所以，衰减量就会随驱动电流的增加而增大。在驱动电流设定在 0mA, 5mA, 10mA, 15mA, 20mA, 25mA 和 30mA 的条件下，在这些设定值下对于波长为 1545nm 的衰减量测量结果分别为 1.3dB, 2.0dB, 7.1dB, 13.4dB, 17.3dB, 21.8dB, 和 27.1dB。此外，我们发现，衰减量波长特性的正向坡度随驱动电流的增加而逐渐增大。这个测量结果与参照图 7A 以前所描述的衰减量波长特性一致。

我们也发现，在图 12 所示衰减器单元 AU2 中，得到了与图 13 所示波长特性相反的波长特性，虽然此处并未画出。

图 14A 至 14D 是曲线图，表示图 12 所示优选实施例的光衰减器中总衰减量波长特性的测量结果。在每种情况下，总衰减量波长特性是这样测得的，把基本上为白光光源 LED 的光输入到光衰减器中，其给定段为 1530nm 至 1560nm，并把从此光衰减器输出的光输入到光谱分析仪。

图 14A 是衰减器单元 AU1 中驱动电流 I_1 设定为 10.5mA 和衰减器单元 AU2 中驱动电流 I_2 设定为 7.9mA 情况下的测量结果。从图 14A 显而易见，在给定波段上测得的衰减量为 10dB，衰减量的波长特性是非常平坦的。

图 14B 是 $I_1 = 20.0\text{mA}$ 和 $I_2 = 6.7\text{mA}$ 情况下的测量结果。从图 14B 显而易见，在给定波段上测得的衰减量为 15dB，衰减量的波长特性非常平坦的。

图 14C 是 $I_1 = 25.8\text{mA}$ 和 $I_2 = 6.2\text{mA}$ 情况下的测量结果。从图 14C 显而易见，在给定波段上测得的衰减量为 20dB，衰减量的波长特性是非常平坦的。

图 14D 是 $I_1 = 29.1\text{mA}$ 和 $I_2 = 5.5\text{mA}$ 情况下的测量结果。从图 14D 显而易见，在给定波段上测得的衰减量为 25dB，衰减量的波长特性是非常平坦的。

图 15 是按照本发明第六个优选实施例的光衰减器图。在图 12 所示第五个优选实施例衰减器单元 AU2 的法拉第转子中，可变磁场 VM 随驱动电流的增加而增大，相应地，法拉第转角从 90° 朝向 0° 减小。与此形成对照，图 15 所示第六个优选实施例采用这样一个法拉第转子 FR'，其中所加可变磁场 VM 和固定磁场 FM 的方向与第五个优选实施例的法拉第转子 FR 中的方向相反。因此，随着法拉第转子 FR' 中驱动电流从零开始增加，法拉第转角从 0° 朝向 90° 增大。

而且，图 15 所示第六个优选实施例采用这样一个楔形板 50'，其主轴 50A' 与楔形板 48 的主轴 48A 垂直，主轴 50A' 与 X 轴平行。

在这个改型的衰减器单元 AU2 中，当法拉第转子 FR' 中的驱动电流为零时，法拉第转角是 0° ，衰减器单元 AU2 中的衰减量为最大，随着驱动电流的增加，法拉第转角就朝向 90° 增大，于是，衰减器单元 AU2 中的衰减量就减小。

按照图 15 所示第六个优选实施例，可以提供一个具有平坦的衰减量波长特性和偏振独立性的光衰减器，偏振独立性是指衰减量与输入光束的偏振态无关。这可以根据图 9 所示第二个优选实例和图 12 所示第五个优选实施例的原理弄明白。

图 16 是按照本发明第七个优选实施例的光衰减器图。与图 12 所示第五个优选实施例对照，其中使用的楔形板 50 有一根平行于 Y 轴的主轴 50A，而在图 16 所示第七个优选实施例中，使用的楔

形板 50' 有一根平行于 X 轴的主轴 50A' 。

按照这个优选实施例，衰减器单元 AU1 中的衰减量波长特性和衰减器单元 AU2 中的衰减量波长特性具有相同的趋向。于是，根据图 10 所示第三个优选实施例和图 12 所示第五个优选实施例的工作原理明白，可以提供一个具有自由调节衰减量波长特性和偏振独立性的光衰减器，偏振独立性是指衰减量与输入光束的偏振态无关。

虽然在上述第四个至第七个实施例中都是用多个双折射晶体楔形板的组合做成偏振无关的光衰减器，但是，也可以用多个双折射晶体平行平面的组合做成偏振无关的光衰减器。在后一情况下，最好采用会聚光束系统替代楔形板组合情况下采用的平行光束系统。

近年来，制造工艺和使用低损耗（例如，0.2dB/km）光纤的技术已经成熟，使用光纤作为传输线的光通信系统已经投入实际应用。此外，为了补偿光纤中的损耗，从而实现远程传输，有人已提出过放大信号光的光放大器，或已付诸实施。

已知的光放大器包括光放大媒质和泵浦装置，待放大的信号光提供给光放大媒质，泵浦装置泵浦（激励）光放大媒质，使光放大媒质给出一个包括信号光在内的增益波段。例如，掺铒光纤放大器（EDFA）包括作为光放大媒质的掺铒光纤（EDF）和泵浦光源，此泵浦光源把具有预定波长的泵浦光送到 EDF。通过初步设定泵浦光的波长在 0.98 μm 波段或在 1.48 μm 波段内，就能够获得包括 1.55 μm 波段在内的增益波段。此外，有半导体芯片作为光放大媒质的另一种类型光放大器也是已知的。在此情况下，把电流注入到半导体芯片内实现泵浦作用。

作为增大单根光纤传输容量的技术，波分多路复用技术（WDM）是知道的。在采用 WDM 的系统中，使用多个有不同波长的光载波。多个光载波被分别调制从而得到多个光信号，多个光信号被光学多路复用器波分多路复用，以获得 WDM 信号光，WDM 信号光输出到光纤传输线上。在接收端一侧，接收到的 WDM

信号光被光学多路分配器分成单独的光信号，传输的数据按照每个光信号进行再现。因此，采用 WDM，单根光纤中的传输容量可以按照 WDM 信道的数目来增大。

在把光放大器合并到采用 WDM 系统的情况下，传输距离受到增益倾斜或增益偏差表示的增益波长特性的限制。例如，在 EDFA 中，人们知道，增益倾斜是在 $1.55\mu\text{m}$ 附近的波长区域内产生的，且这个增益倾斜随输入到 EDFA 中信号光的总输入功率和泵浦光功率而变化。

图 17 是一方框图，表示按照本发明一个优选实施例的系统。这个系统包括传输波分多路复用光（WDM 光）的光纤传输线 68 和按照本发明的光衰减器 70，WDM 光包含多个有不同波长的光信号，而光衰减器 70 放在（即沿着）光纤传输线 68 上。光衰减器 70 有衰减器 AU1 和 AU2，各自对 WDM 光给出一个可变的衰减量。衰减器单元 AU1 和 AU2 分别有衰减量的第一波长特性和衰减量的第二波长特性，这两个波长特性各不相同。包含在 WDM 光内的多个光信号用 λ_1 至 λ_n 表示。

在光纤传输线包括多个级联光放大器且每个光放大器有一个在 WDM 光波段内增益波长特性的情况下，增益波长特性是累积是，造成信号功率或光信噪比（光 SNR）的信道间偏差。

在图 17 所示的优选实施例中，按照本发明第二方面的光衰减器 70 配置，可以自由地调节衰减量的波长特性，因此，累积的衰减量波长特性能够得到补偿，从而减小信号功率或光 SNR 的信道间偏差。

在另一个精心控制的系统中，光纤传输线 68 中的增益波长特性变得很平坦，这是在按照本发明第一方面光衰减器 70 配置的控制下，使衰减器单元 AU1 中的衰减量波长特性基本上与衰减器单元 AU2 中的衰减量波长特性互相抵消，从而保持平坦的增益波长特性。

图 18A，18B 和 18C 是三个方框图，表示按照本发明几个优选实施例的光放大器。在每个光放大器应用于图 17 所示系统的条

件下，描述每个光放大器的配置和运行原理。

参照图 18A，此处画出含两个光放大单元 72（# 1 和 # 2）和按照本发明光衰减器 70 的光放大器 71，光衰减器 70 放在两个光放大单元 72（# 1 和 # 2）之间。光衰减器 70 包括两个衰减器单元 AU1 和 AU2，各自给出可变的衰减量，衰减器单元 AU1 和 AU2 分别有衰减量的第一波长特性和衰减量的第二波长特性，这两个波长特性各不相同。

待放大的 WDM 光首先被光放大单元 72（# 1）放大，提供衰减量给放大的 WDM 光是光衰减器 70。然后，衰减了的 WDM 光被光放大单元 72（# 2）放大，最后从光放大器 71 中输出。

在保持每个光放大单元 72（# 1 和 # 2）的增益波长特性情况下，设定衰减量的第一波长特性和第二波长特性，从而使二者互相抵消。

或者，衰减量的第一波长特性和第二波长特性可以这样设定，使得从光放大单元 72（# 2）输出光的波长特性（具体说是 WDM 光的波长特性）变得平坦。

参照图 18B，此处画出含光放大单元 72 和光衰减器 70 的光放大器 71，光衰减器 70 连接到光放大单元 72 的输出。在此情况下，衰减量的第一波长特性和第二波长特性设置成互相抵消，所以，光放大单元 72 的增益波长特性不会因光衰减器 70 的运行而发生变化。

参照图 18C，此处画出含光放大单元 72 和光衰减器 70 的光放大器 71，光衰减器 70 连接到光放大单元 72 的输入。在此情况下，衰减量的第一波长特性和第二波长特性设置成互相抵消，所以，提供给光放大单元 72 且在其中被放大的 WDM 光波长特性不会改变。

在图 18B 和 18C 的每个优选实施例中，衰减量的第一波长特性和第二波长特性可以设置成与光放大单元 72 中的增益波长特性互相抵消。

图 19 是一方框图，表示按照本发明一个优选实施例的终端设

备。终端设备 74 连接到光纤传输线 68 的输入端。终端设备 74 包括多个 E/O (电/光) 转换器 76 (# 1 至 # n) 和多个按照本发明的光衰减器 70 (# 1 至 # n), 多个 E/O 转换器 76 用于分别输出有不同波长 λ_1 至 λ_n 的光信号, 多个光衰减器 70 用于分别调节从 E/O 转换器 76 (# 1 至 # n) 输出的这些光信号电平。每个光衰减器 70 (# 1 至 # n) 用作一个所谓的电平调整单元。从光衰减器 70 (# 1 至 # n) 输出的光信号被光学多路复用器 78 波分多路复用以得到 WDM 光, 此 WDM 光又被光放大器 71 放大, 接着, 提供给光纤传输线 68。图 18A, 18B 和 18C 中所示每个优选实施例可以应用于光放大器 71。每个 E/O 转换器 76 (# 1 至 # n) 包括输出 CW 光 (连续波光) 的激光二极管 (LD) 80 和调 CW 制光的光调制器 82, 此 CW 光是随一个主信号而从 LD80 输出的。

按照这个优选实施例, 在每个光衰减器 70 (# 1 至 # n) 中, 按照本发明可以得到一个基本上平坦的衰减量波长特性或一个所希望的衰减量波长特性。因此, 可以保持每个 E/O 转换器 76 (# 1 至 # n) 输出光信号功率的波长特性, 从而使得到的 WDM 光功率波长特性保持恒定。

此外, 光放大器 71 有按照本发明光衰减器 70 这样一个元件。因此, 可以使得到的 WDM 光功率波长特性变得平坦, 或设定成所希望的波长特性。

终端设备 74 可以不含光衰减器 70 (# 1 至 # n) 或光放大器 71。

如上所述, 根据发明, 提供一个有平坦衰减量波长特性的光衰减器或一个可调节衰减量波长特性的光衰减器是可能的。

按照本发明一个具体优选实施例, 提供一个偏振无关光衰减器是可能的, 这种光衰减器的衰减量不取决于输入光束的偏振态。

按照本发明, 进一步提供一个各自有根据本发明的光衰减器的新颖系统, 光放大器和终端设备是可能的。

本发明不受上述几个优选实施例细节的限制。本发明的范围是由所附权利要求书所规定, 所以, 在权利要求书相当的范围内所有

变化和改型都属于本发明。

图1

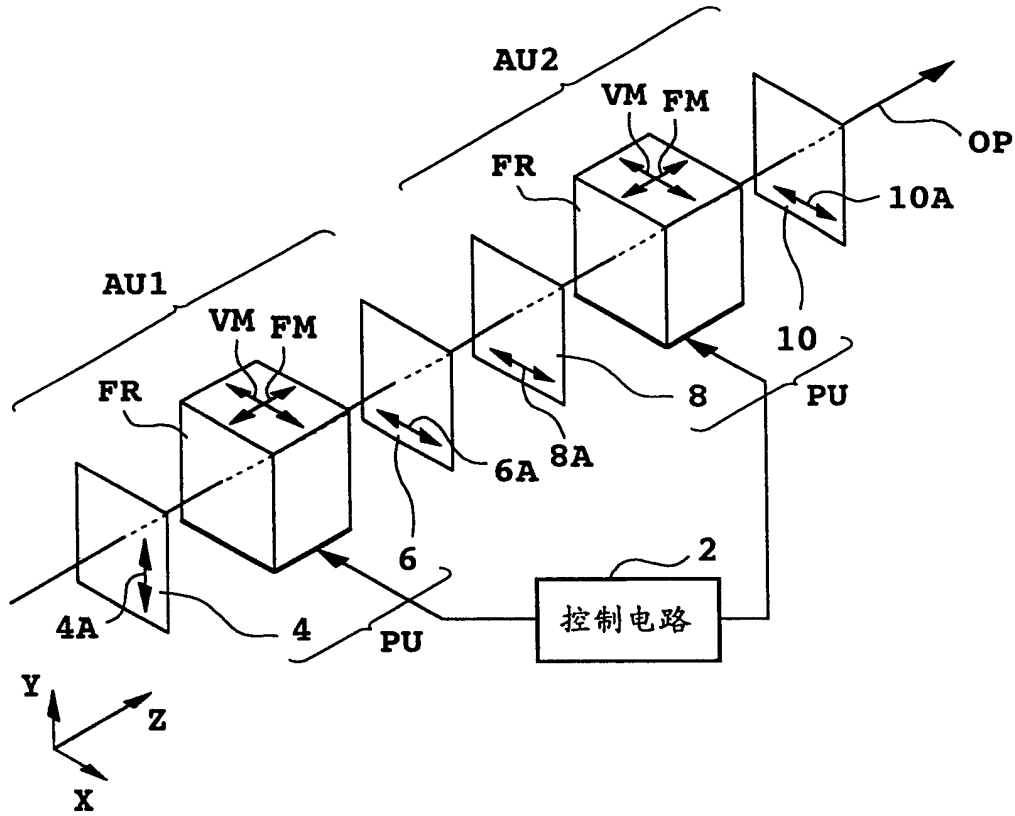


图 2

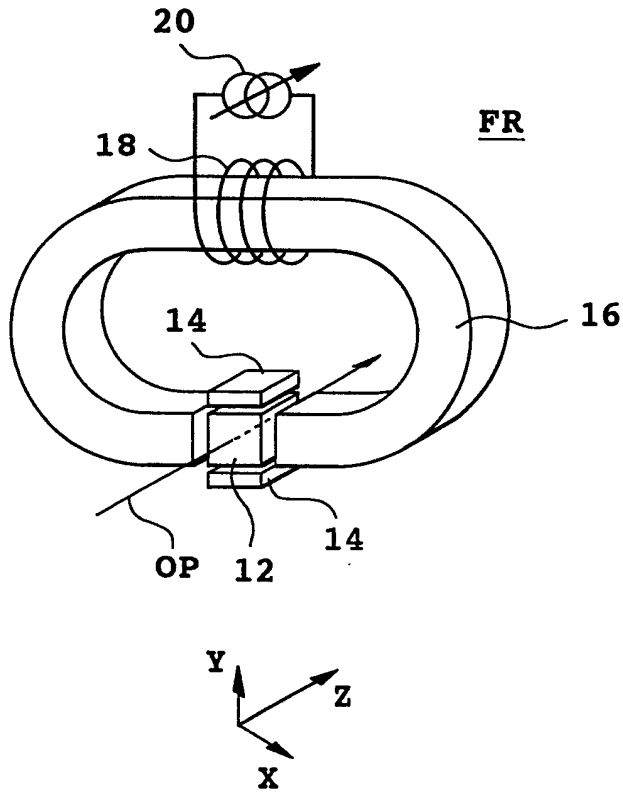


图 3

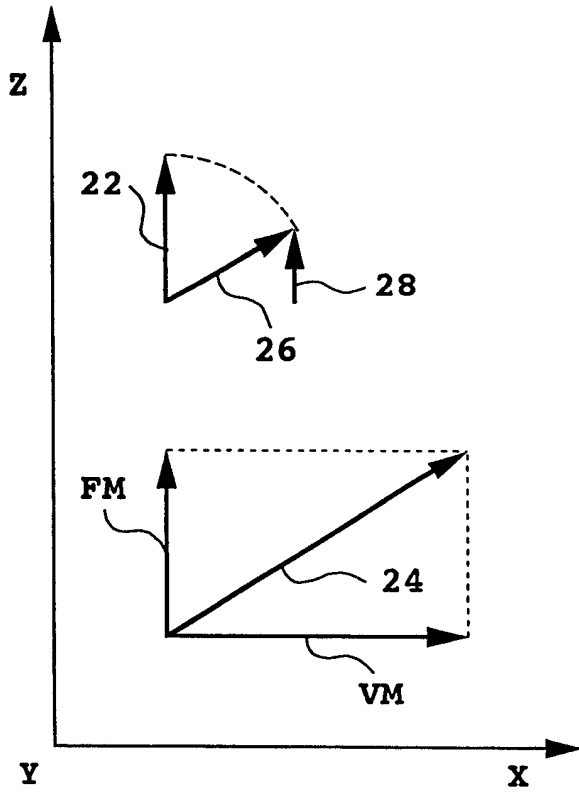


图 4

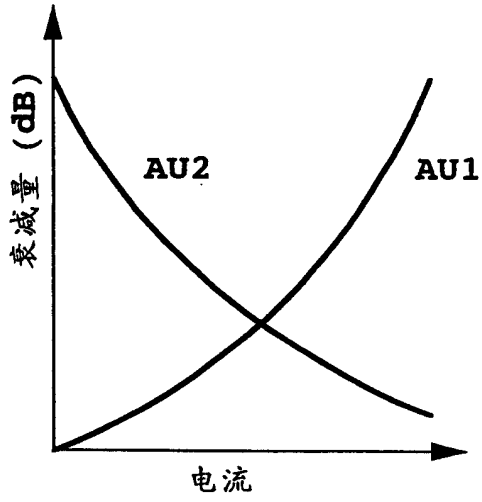


图 5

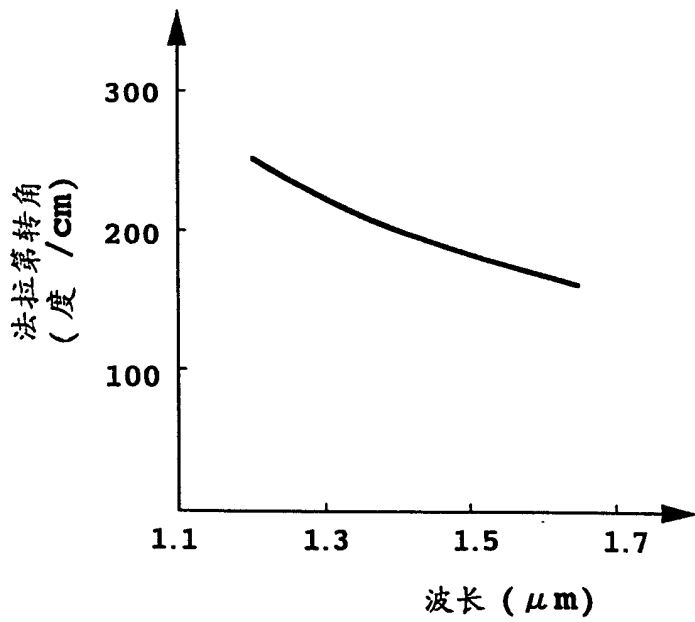


图 6

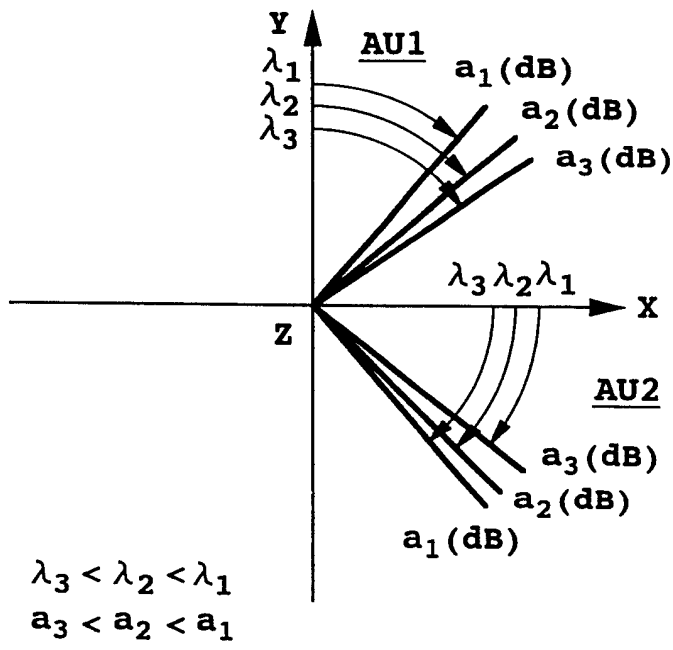


图 7 A

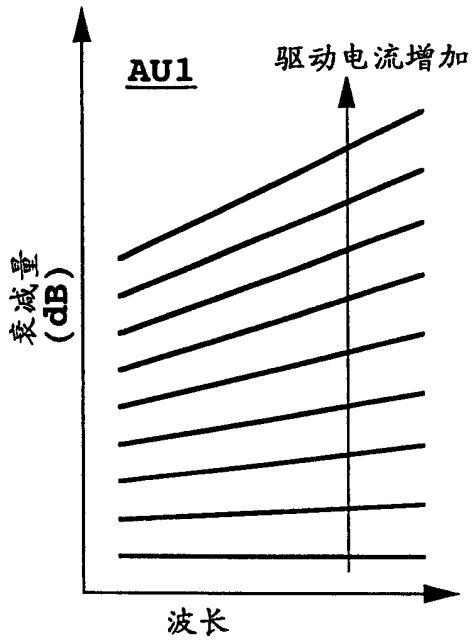


图 7 B

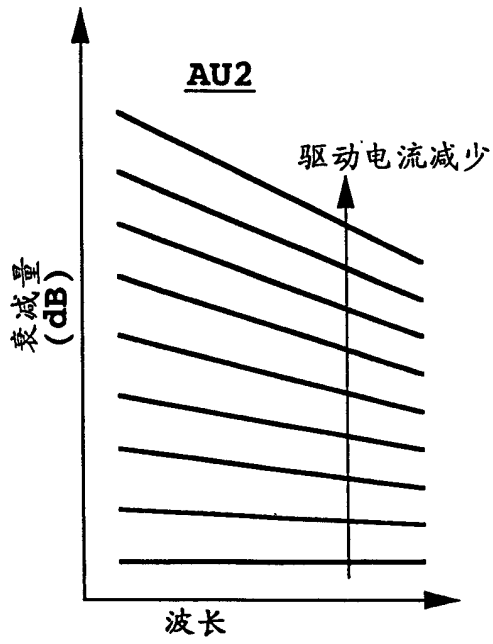


图 8

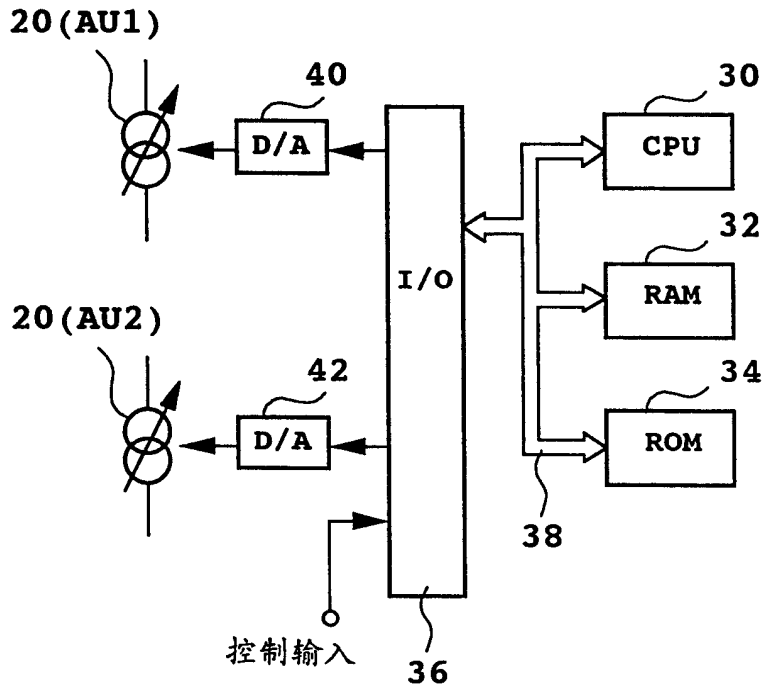


图 9

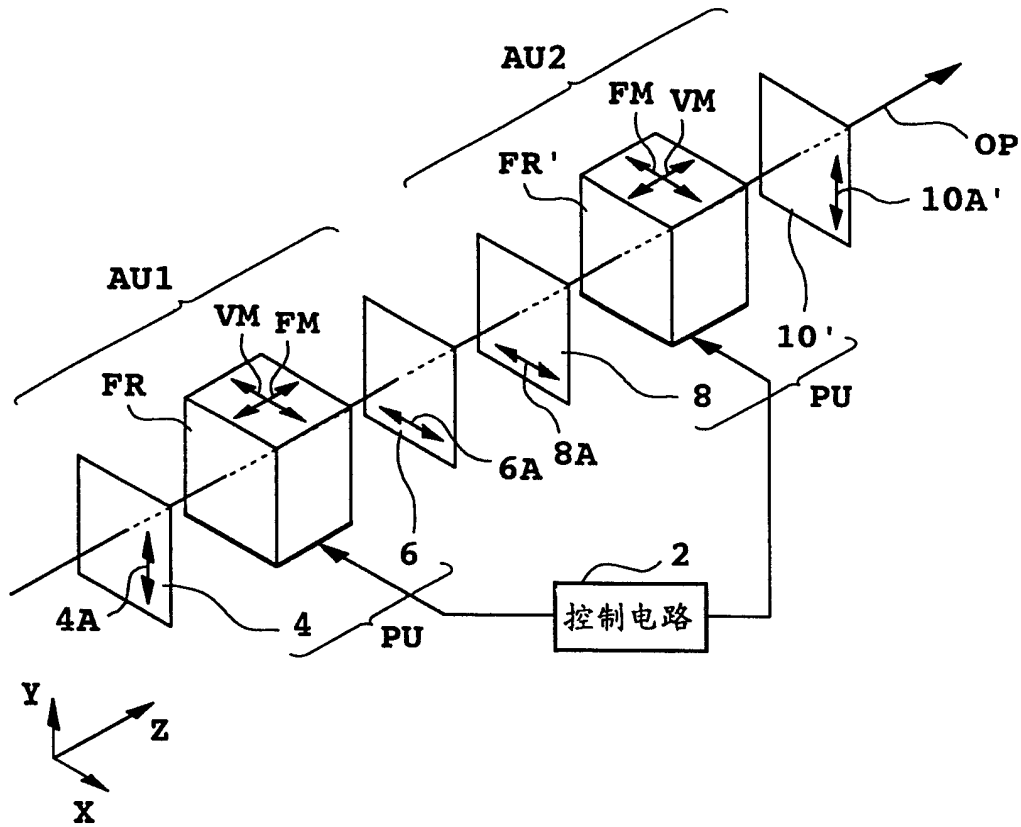


图 10

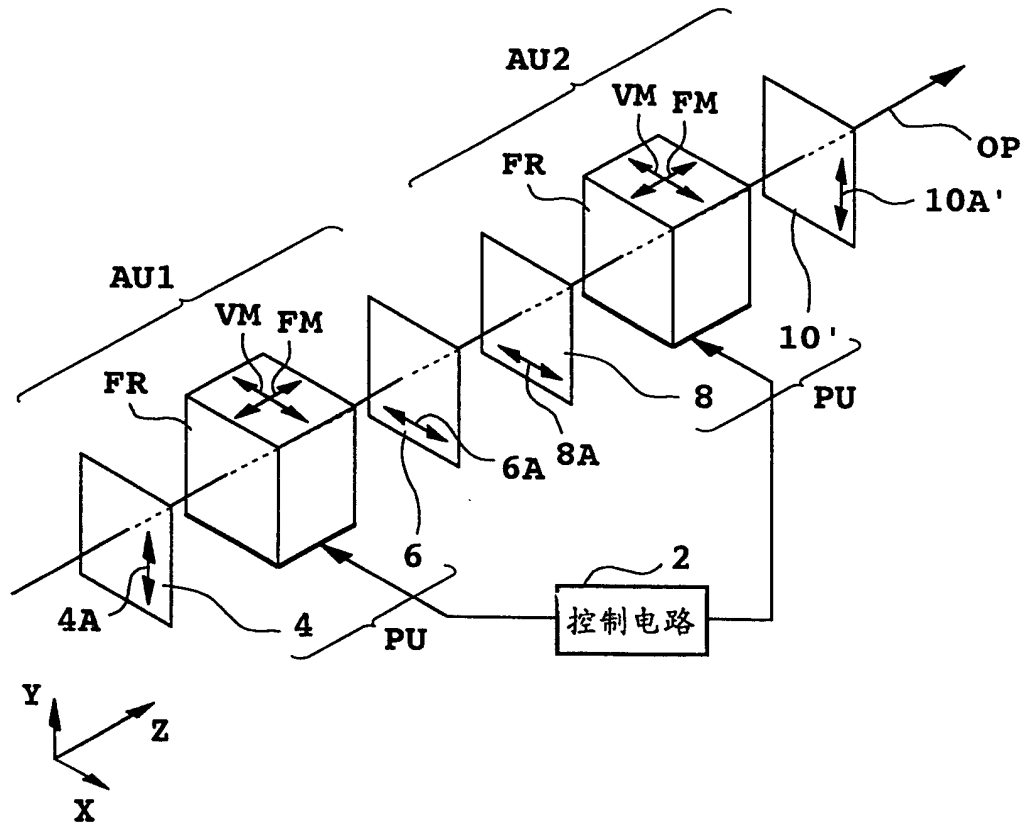


图 11

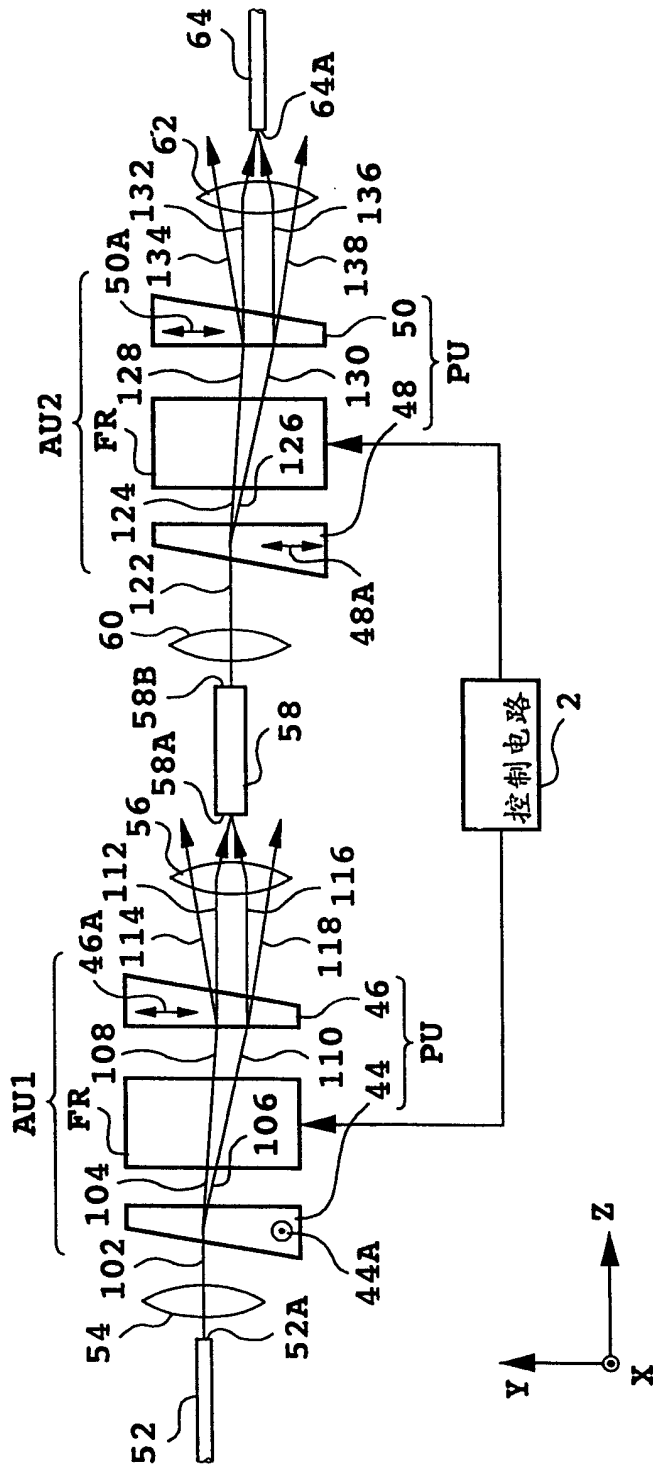


图 1 2

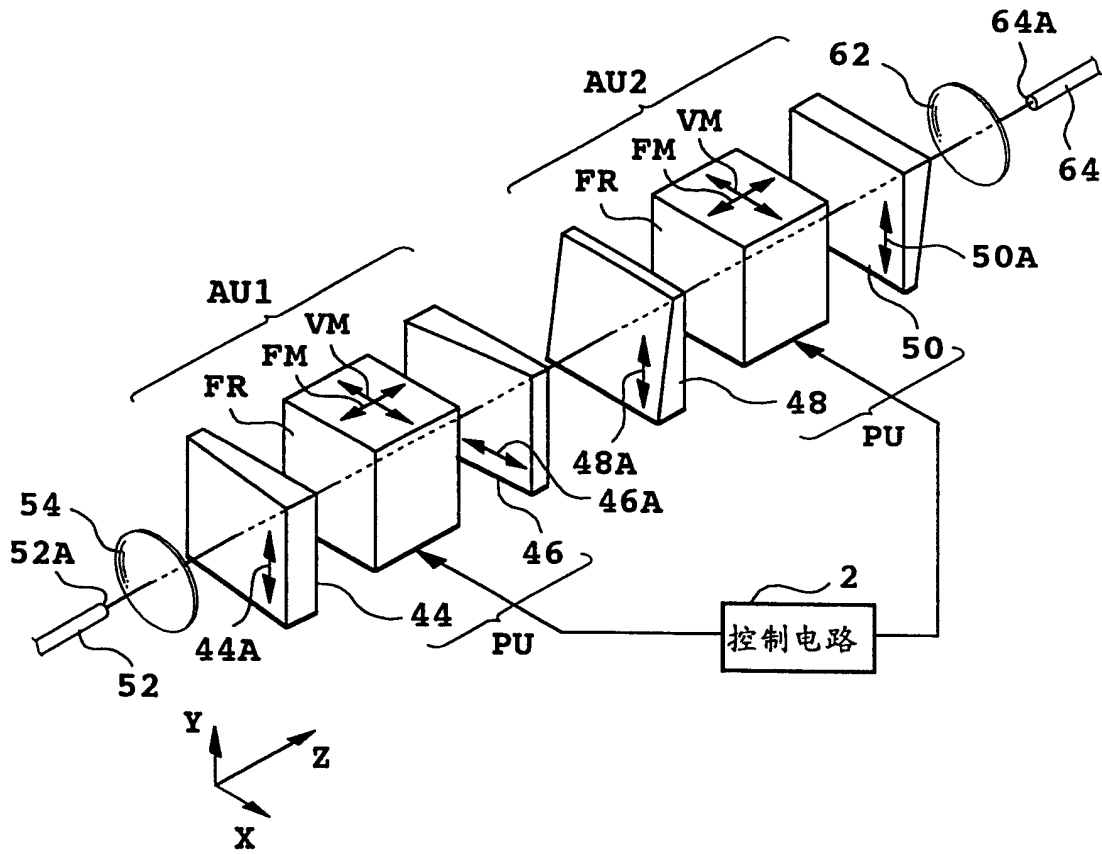


图 13

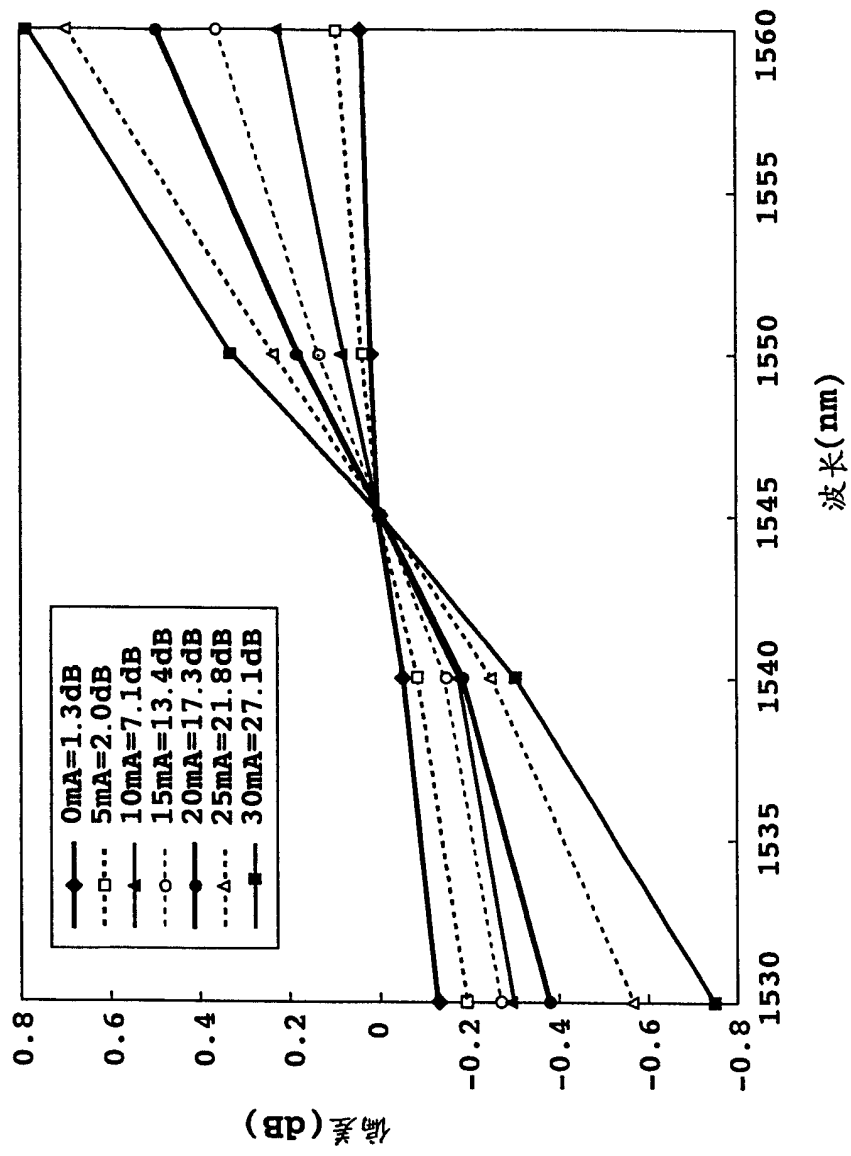


图14B

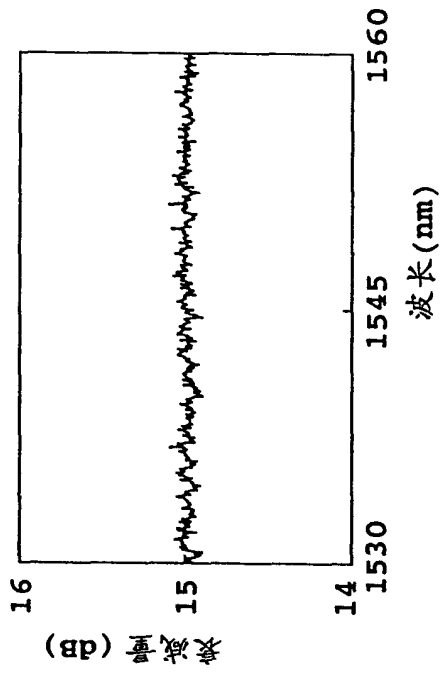


图14D

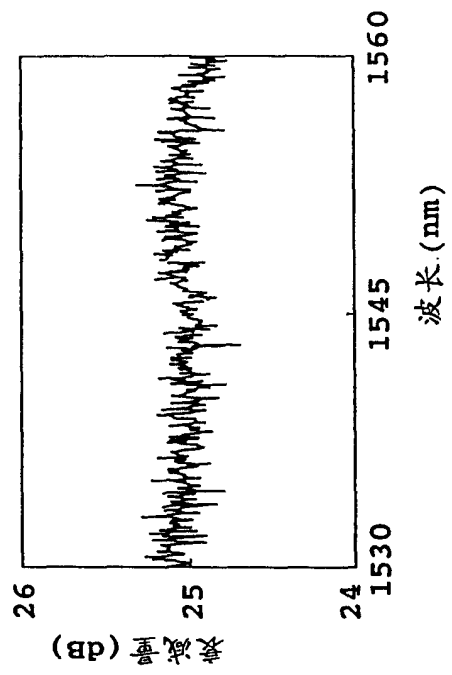


图14A

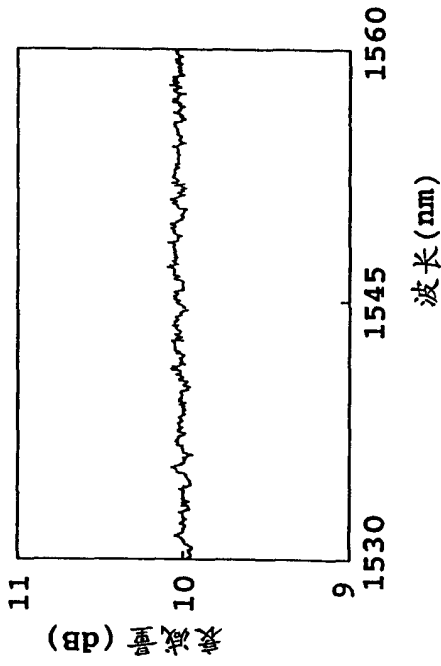


图14C

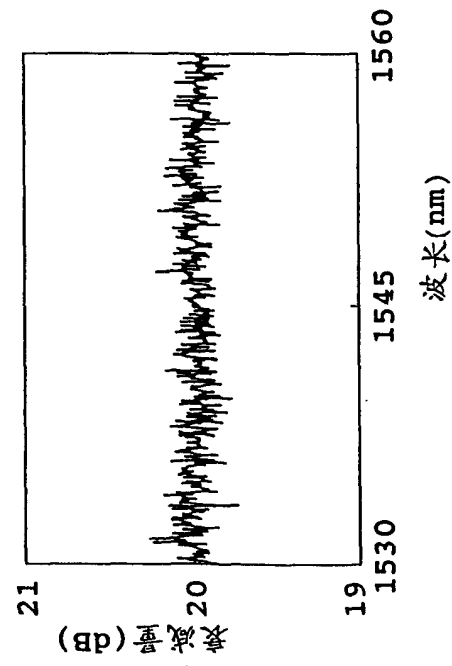


图 15

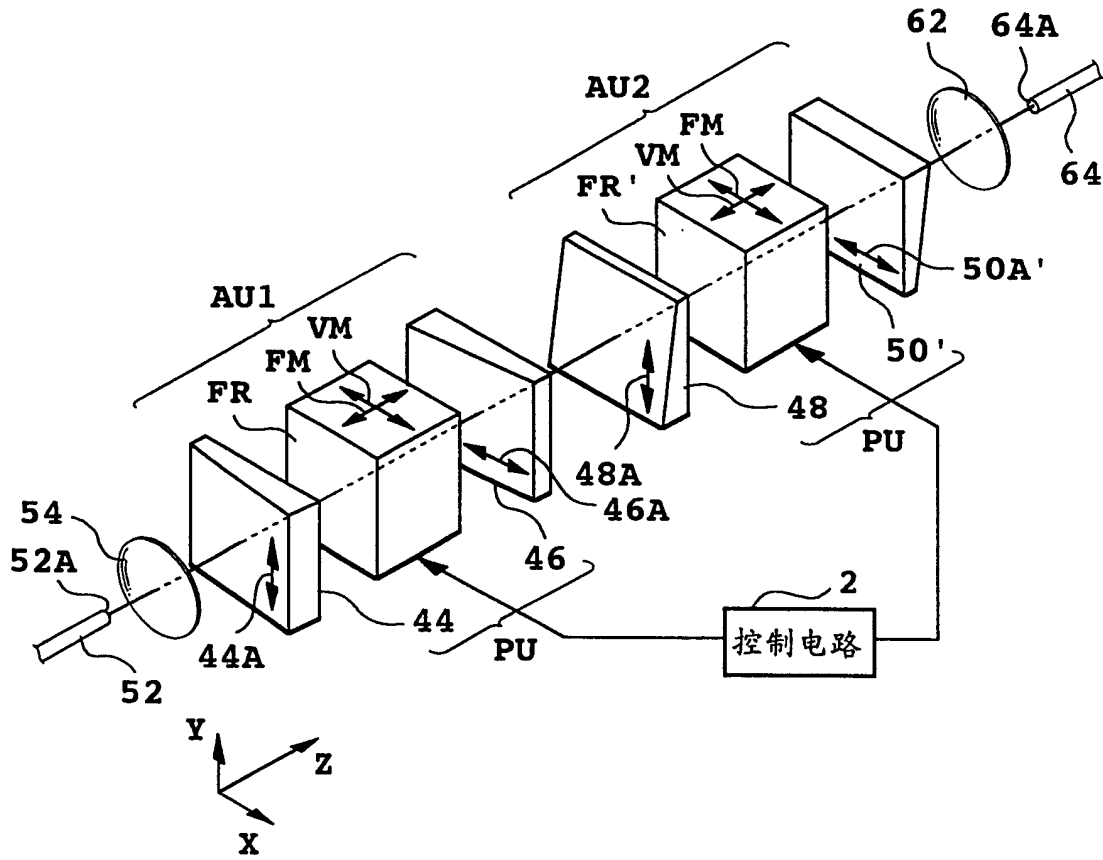


图 16

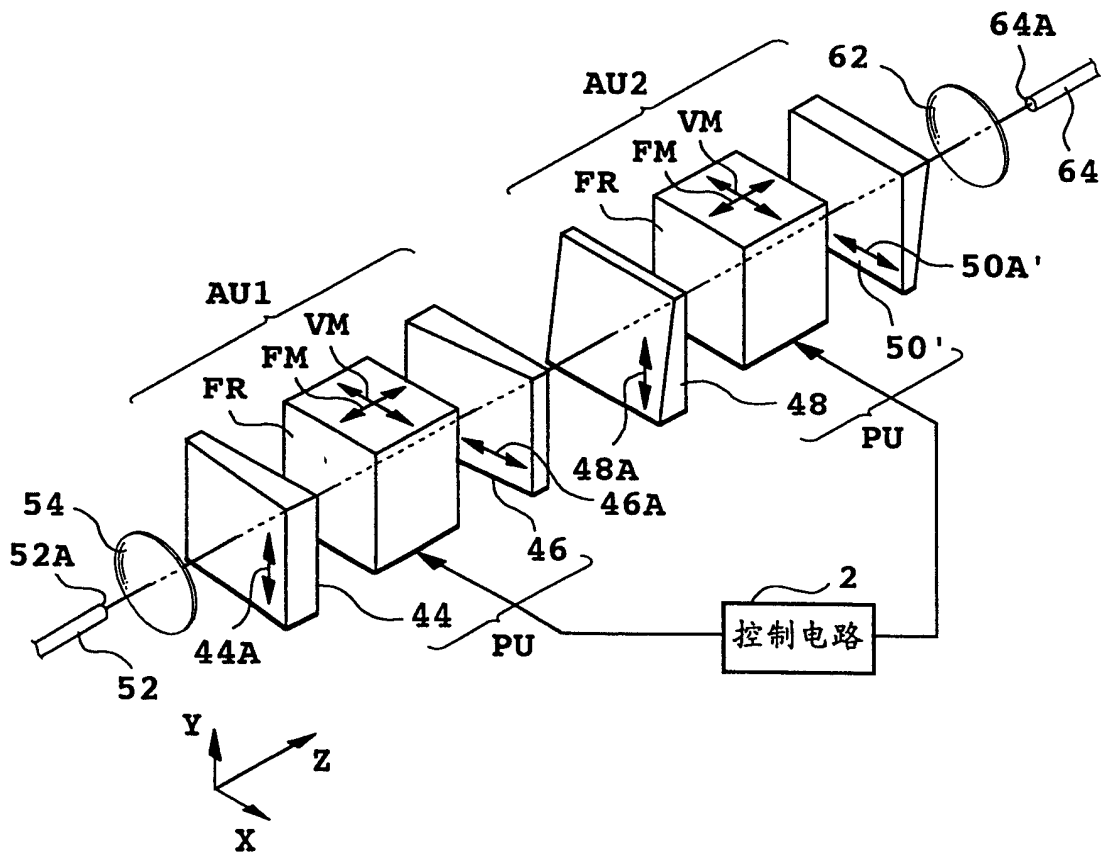


图 1 7

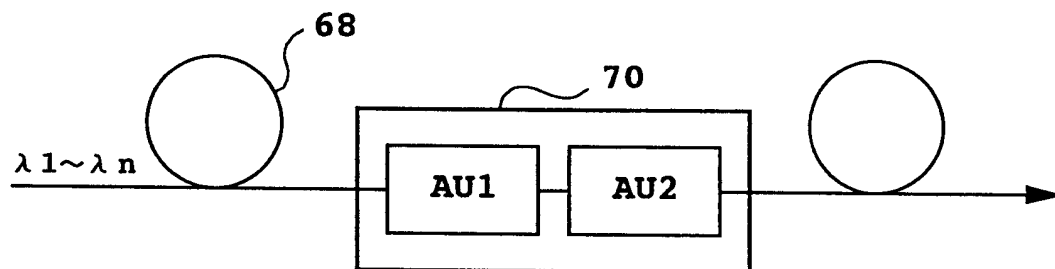


图18A

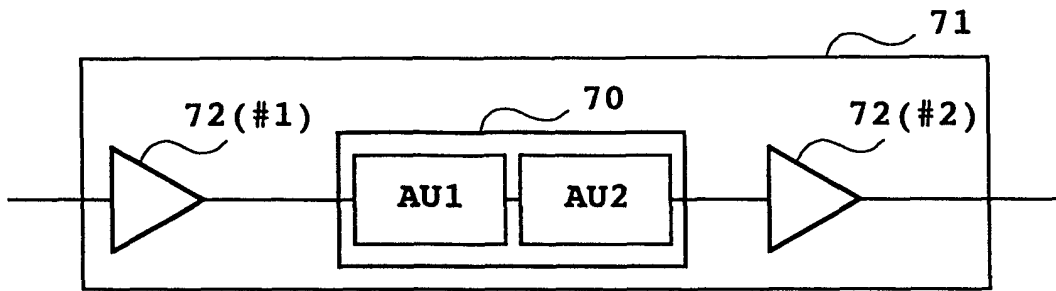


图18B

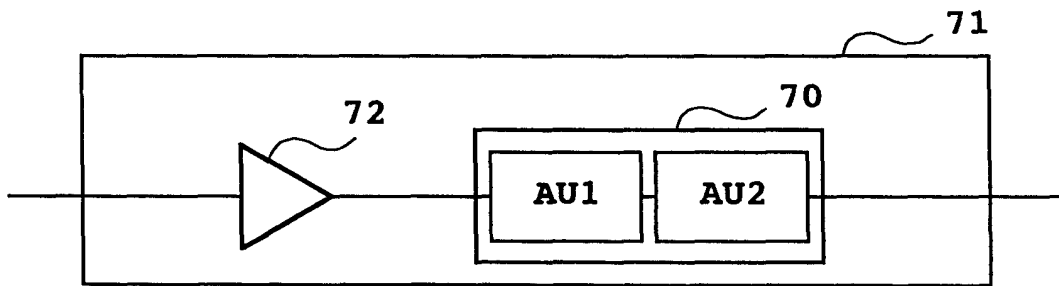


图18C

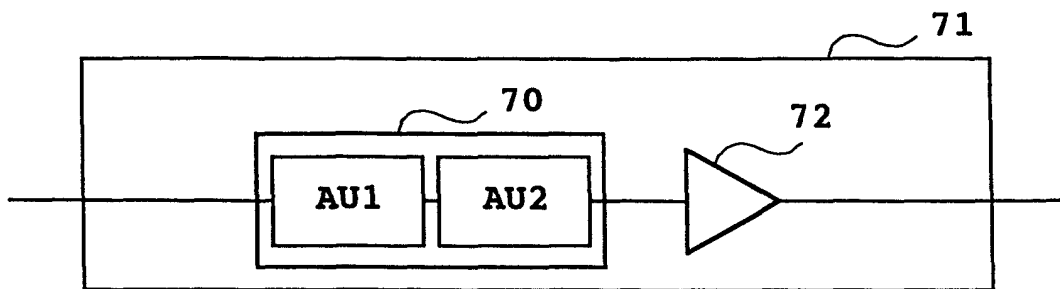


图19

