



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 01117776.4

[45] 授权公告日 2004 年 11 月 10 日

[11] 授权公告号 CN 1175286C

[22] 申请日 2001.5.17 [21] 申请号 01117776.4

[30] 优先权

[32] 2000. 5.22 [33] US [31] 09/575,620

[71] 专利权人 JDS 尤尼费斯公司

地址 加拿大安大略

[72] 发明人 戴维·格兰斯登 菲利普·郎永

审查员 高懿颖

[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

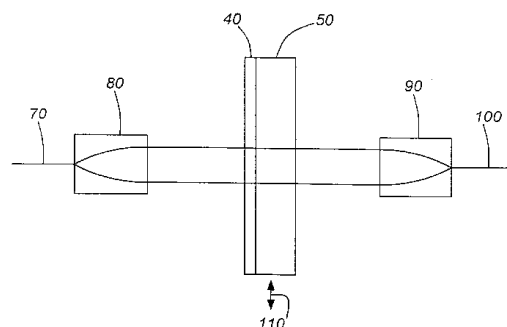
代理人 蒋世迅

权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图 5 页

[54] 发明名称 可变光衰减器

[57] 摘要

公开一种多孔径型的可变光衰减器。该衰减器包括其中有多孔径的薄膜单元。多个孔径是这样分布的，大多数孔径的尺寸是沿薄膜单元的距离而增大。特别是，多个孔径的分布是按照仔细设计的图案，其中透射光的百分比是从图案的一端变化到图案的另一端。该可变光衰减器基本上是与波长和偏振无关的。



1. 一种可变光衰减器，用于衰减包含光信号的光束，该光束具有的直径小于 1 mm，包括：

滤波器，包括有多个离散孔的薄片，用于提供沿确定薄片梯度轴的路径的透射梯度，该多个孔有预定的形状，尺寸和分布，且其长度和它们之间的距离小于光束直径；

输入端口，使光束以预定的夹角射向滤波器；

输出端口，接收来自滤波器的光；和

控制器，提供光束与滤波器之间的相对运动，根据所述滤波器相对于所述光束的位置实现光束的可变衰减。

2. 按照权利要求 1 的可变光衰减器，其中该薄片包括低衰减端和高衰减端，低衰减端和高衰减端分布在梯度轴的相对两端。

3. 按照权利要求 2 的可变光衰减器，其中这些孔是没有衰减材料的开孔。

4. 按照权利要求 3 的可变光衰减器，其中至少一个孔的面积大于 $500 \mu\text{m}^2$ 。

5. 按照权利要求 3 的可变光衰减器，其中这些孔有均匀的分布。

6. 按照权利要求 5 的可变光衰减器，其中每个孔有相同的形状。

7. 按照权利要求 6 的可变光衰减器，其中相同的形状是圆形。

8. 按照权利要求 7 的可变光衰减器，其中这些孔尺寸是从高衰减端向着低衰减端的方向增大。

9. 按照权利要求 8 的可变光衰减器，其中每个孔有六个相邻的孔，每个相邻孔有相同的中心至中心距离。

10. 按照权利要求 9 的可变光衰减器，其中该薄片是金属膜。

11. 按照权利要求 10 的可变光衰减器，其中滤波器包括支持金属膜的透明衬底。

12. 按照权利要求 11 的可变光衰减器，其中金属膜是高反射的。

13. 按照权利要求 12 的可变光衰减器，其中金属膜是金膜，并按照不连续和预定的安排沉积在透明衬底上。

14. 按照权利要求 13 的可变光衰减器, 其中透射梯度是从高衰减端的 0.1%透射率延伸到低衰减端的 100%透射率。

15. 按照权利要求 14 的可变光衰减器, 包括: 光耦合到输入端口的准直透镜和光耦合到准直透镜的会聚透镜, 准直透镜用于准直到达滤波器之前的光束, 而会聚透镜用于会聚从滤波器到输出端口的零级衍射光。

16. 一种可变光衰减器, 用于衰减包含光信号的光束, 该光束具有的直径小于 1 mm, 包括:

滤波器, 包括具有多个不透明区域和多个透明区域的薄片, 这些区域是这样离散地分布的, 每单位面积透明区域的百分比随滤波器的尺度而增大, 该单位面积的直径等同于光束直径, 该多个透明区域有预定的形状, 尺寸和分布, 且至少部分的透明区域的长度和它们之间的距离小于光束直径;

输入端口, 使光束以预定的夹角射向滤波器;

输出端口, 接收来自滤波器的光; 和

控制器, 提供光束与滤波器之间的相对运动, 根据所述滤波器相对于所述光束的位置实现光束的可变衰减度。

17. 按照权利要求 16 的可变光衰减器, 其中薄片是透明衬底, 而透明区域是透明衬底表面上没有材料的孔。

18. 按照权利要求 17 的可变光衰减器, 其中多个不透明区域是沉积在透明衬底表面上孔附近的薄膜, 且其中光信号是通信信号。

19. 一种可变衰减光束的方法, 该光束包含光信号, 其直径小于 1 mm, 包括以下步骤:

(a) 照射滤波器, 该滤波器包括有多个不透明区域和多个透明区域的薄片, 这些区域是这样离散地分布的, 每单位面积透明区域的百分比随滤波器的尺度而增大, 该单位面积的直径等同于光束直径, 多个透明区域有预定的形状, 尺寸和分布, 且至少部分的透明区域的长度和它们之间的距离小于光束直径;

(b) 取决于所要求的衰减度, 相对地运动滤波器和光束, 实现光束的可变衰减度。

可变光衰减器

技术领域

本发明涉及可控地衰减光信号的可变光衰减器。本发明具体涉及缓变孔滤波器形式的可变光衰减器，它基本上是波长无关和偏振无关的。

背景技术

本领域专业人员知道多种形式的光衰减器。理想地，光衰减器提供一种控制光束强度而不明显地影响光束其它性质的装置。

传统上，利用可变孔或光阑调节光束的横截面，因此，调节光束的总能量。然而，大多数阻挡部分光信号的单孔衰减器是波长有关和偏振有关的，因此，限制了这些器件在许多应用中的使用。

我们还知道线栅型光衰减器，例如，在 Arthur Ashkin 的美国专利 No.3,620,599 中有描述，把它合并在此供参考。这些类型的光衰减器是在衍射原理下工作的。线栅型光衰减器包括多个均匀间隔的平行反射线，其中这些线直径和它们之间的间隔是这样选取的，大于被衰减的光波长约 1 至 3 个数量级。可变衰减是通过围绕平行于所述线的轴旋转线栅完成的。虽然这些光衰减器在高功率条件下工作得很好，因散射和/或背反射而引起许多问题，这些问题使透射质量下降并导致反馈噪声。当这些衰减器接近激光器时，这种反射光还造成激光器性能的下降。

更普遍地，可变光衰减器是连续可变的中性密度滤波器，其中光密度是滤波器区域上位置的变化函数。这些滤波器一般是由带金属涂层的光玻璃衬底制成的，其密度随滤波器表面的距离而增大。当滤波器相对于光束运动时，通过光信号的吸收和反射实现衰减。一般地说，这种滤波器的运动是围绕被衰减光束轴的旋转。

在 Tamulevich 的美国专利 No.4,904,044 中公开一种连续可变光纤衰减器，其中密度梯度的变化是沿着它的长度方向，把它合并在此供参考。该衰减器利用可变光密度的灵活滤波器，它朝向两条光纤之间的光

耦合区。按照这样的方式放置衰减器，改变光耦合区中的衰减器密度，从而改变该器件的衰减度。耦合到衰减器的电阻器提供一种衰减器定标的手段，给出高精度和可重现的衰减度。

虽然连续可变的中性密度滤波器工作得令人满意，它们的制造成本很高，且在光谱的吸收，反射和折射特性方面存在一些缺点。

特别是，由于中性密度特征具有高的吸收特性，金属涂层的温度可以达到很高的量级，因而诱发某些随时间发生的疲劳现象（例如，分层，氧化，退火，等等）。所以，该滤波器的本征特性受到影响，例如，密度。此外，由于滤波器表面上不规则性导致反射光干涉造成的干扰是另一种限制，特别是在滤波器的温度增高时，例如在高的光强度应用中所发现的。

此外，金属涂层的应用要求很高的精度，且经常随不同的分批而变化。而且，制造这样的中性密度滤波器是极其困难的，其中金属层的沉积是按照这样一种方式，滤波器的衰减度与位置之间的关系大致呈现线性关系。

发明内容

本发明的一个目的是，提供一种排除大部分或全部上述缺点的光衰减器，而且，它的制造工艺不太复杂且成本较低。

本发明的另一个目的是，提供一种基本上波长无关和偏振无关的光衰减器，而且，它可在高功率应用中使用。

本发明提供一种可变光衰减器，它基本上是波长无关和偏振无关的。类似于线栅型光衰减器，本发明的缓变孔滤波器是在衍射原理下工作的。具体地说，通过滤波器透射的零级衍射光提供与波长无关的衰减辐射。

按照本发明提供一种可变光衰减器，用于衰减包含光信号的光束，光束直径小于 1 mm，包括：

滤波器，包括有多个离散孔的薄片，用于提供沿确定薄片梯度轴路径的透射梯度，多个孔有预定的形状，尺寸和分布，且其长度和它们之间的距离小于光束直径；

输入端口，使光束以预定的夹角射向滤波器；

输出端口，接收来自滤波器的光；和

控制器，提供光束与滤波器之间的相对运动，根据所述滤波器相对于所述光束的位置实现光束的可变衰减度。

按照本发明提供另一种可变光衰减器，用于衰减包含光信号的光束，光束直径小于 1 mm，包括：

滤波器，包括有多个不透明区域和多个透明区域的薄片，这些区域是这样离散地分布的，每单位面积透明区域的百分比随滤波器的尺度而增大，单位面积的直径等同于光束直径，多个透明区域有预定的形状，尺寸和分布，且至少部分的透明区域的长度和它们之间的距离小于光束直径；

输入端口，使光束以预定的夹角射向滤波器；

输出端口，接收来自滤波器的光；和

控制器，提供光束与滤波器之间的相对运动，根据所述滤波器相对于所述光束的位置实现光束的可变衰减度。

按照本发明提供一种可变衰减光束的方法，该光束包含光信号，光束直径小于 1 mm，包括以下步骤：

(a) 照射滤波器，该滤波器包括有多个不透明区域和多个透明区域的薄片，这些区域是这样离散地分布的，每单位面积透明区域的百分比随滤波器的尺度而增大，单位面积的直径等同于光束直径，多个透明区域有预定的形状，尺寸和分布，且至少部分的透明区域的长度和它们之间的距离远远小于光束直径；

(b) 取决于所要求的衰减度，相对地运动滤波器和光束，实现光束的可变衰减度。

附图说明

现在结合附图描述本发明几个典型的实施例，其中：

图 1 是按照本发明一个实施例的缓变孔滤波器的正视图；

图 2 是缓变孔滤波器的侧剖面图；

图 3 是放置在两个光波导之间缓变孔滤波器的侧剖面图；

图 4a 是有六个近邻的中央孔示意图；
图 4b 是有四个近邻的中央孔示意图；
图 5a 是在 10 dB 下衰减度与波长关系的曲线图；
图 5b 是在 20 dB 下衰减度与波长关系的曲线图；
图 6 是偏振依赖损耗与衰减度关系的曲线图；和
图 7 是衰减度与滤波器位置关系的曲线图。

具体实施方式

参照图 1，它表示按照本发明一个实施例用于可变光衰减器的滤波器。滤波器 10 包括：有多个“孔”的薄片单元 40。这些孔是没有衰减材料的透明‘孔’或‘窗口’，孔的尺寸沿滤波器 10 的长度方向变化。在滤波器的高衰减端 20，这些孔很小且是孤立的。在滤波器的低衰减端 30，较大的孔互相重叠，以获得最大的透明度。其结果是一种缓变孔滤波器，其中缓变孔提供沿一条路径的透射梯度，该路径确定滤波器的梯度轴，例如，图 1 所示滤波器的纵轴。

此处所用到的术语‘透射梯度’是指，沿预定尺度每单位面积的百分比透射梯度或步长，例如，确定梯度轴的尺度。在这个典型的实施例中，单位面积定义为一个圆，其直径等同于被衰减的光束直径。

理想地，薄片单元是尽可能地薄以避免与光传播通过窄‘管子’相关的现象。因此，最好是这样的薄片单元 40，它被支持在衬底 50（例如，玻璃）上的薄膜。对于所关心的波长区，形成薄膜 40 和衬底 50 的材料分别是不透明和透明的。在理想的情况下，不透明部分不透射光，而透明部分不影响透射光的相位。

例如，透明部分的透射光相位是受有恒定厚度衬底 50 的影响，这些厚度在光束的截面上是均匀的，对波长没有影响。若光能够传播通过不透明部分，则光波开始出现不同的相位，不透明部分和透明部分透射的光波出现与波长有关的相对相差。因此，重要的是减少不透明部分的透射光量和保持不透明部分的厚度均匀，特别是在孔的边缘部分。

最好是，薄膜 40 是高反射的，虽然吸收材料可能适合于某些应用。薄膜是采用合适的材料制成的。尤其是，在应用于非常薄层的情况下，

金是特别适合的，因为它具有高的反射率，耐用性，和容易加工。

根据应用的目的预先确定孔的形状，尺寸和分布。一般地说，各个孔形状的设计是考虑减小偏振问题，而各个孔之间间隔的设计是为了控制衍射光和/或反射光。关于前一个问题，如同长的狭缝一样，对称的周期性形状一般不会产生相同的偏振问题。关于后一个问题，这些孔通常是密集在一起，通过扩展反射的衍射图案以控制背反射。然而，减小背反射是一个非常复杂的问题。应当根据滤波器的夹角（图 2），选择孔的尺寸和孔的间隔以控制背反射。

按照图 1，这些孔是圆形且有均匀的分布。分布图案设计成使相邻孔之间的间隔最小。具体地说，每个孔设计成有六个近邻，即，每个中央孔周围有六个相邻孔，这些相邻孔与所述中央孔之间有相同的中心至中心距离。例如，图 4a 与 4b 进行比较，这两个图分别表示有六个近邻和四个近邻。一般地说，两个孔之间的间隔约在 $1\mu\text{m}$ 至 $100\mu\text{m}$ 。对于约 $40\mu\text{m}$ 的间隔，可能是这种情况，至少一些孔的面积至少约为 $500\mu\text{m}^2$ 。

当然，其他的形状和/或图案也是可能的。例如，圆形，椭圆形，三角形，正方形，菱形，六边形，和/或其他的多边形也是合适的，例如，蜂巢图案（图 4a），棋盘形（图 4b），或其他的布置。或者，分布大致是无规的，而在沿梯度轴方向仍然有平坦的透射梯度。

这些孔的尺寸和间隔对于本发明是至关重要的。在形成薄膜 40 时要求有某种程度的高质量。最好是，图案内的缺陷小于被衰减光的波长，为的是不影响该光。实际上存在这样的可能性，很小孔的缺陷相对于它们的尺寸是很大的。若薄膜 40 有很大的厚度，则最好是，该薄膜制作成有直的边缘。

在此处描述的每个实施例中，最好是，孔的尺寸远远大于被衰减光的波长，孔的分布是这样的，给定光束的横截面上有许多孔，且光束被衰减的程度取决于其中滤波器的位置。最好是，衰减度与滤波器位置之间是线性关系。值得注意的是，孔上没有影响透射光的任何材料或镀层。

虽然上述的滤波器 10 描述成其中包括有多个孔的薄膜，应当注意，同样可以描述成其表面上包括有离散的多个基本不透明区域和基本透

明区域的透明衬底。后一种描述说明这样一个事实，在滤波器的低衰减端 30，‘孔’在视觉上是不可见的；并支持本发明的一个实施例，其中薄膜加到透明衬底的表面上。例如，薄膜是以预定的图案‘涂抹’或‘溅射’在透明衬底的表面。多个透明区域相当于没有衰减材料的多个光透射窗口。按照后一种描述，多个基本不透明区域和基本透明区域是这样分布的，每单位面积的透明区域百分比是沿滤波器的距离而增大的，其中选取单位面积的尺寸足够地大，它至少包括最大的透明区域，且其中至少部分的基本透明区域的长度和它们之间的距离远远小于被衰减的光束直径。

光衰减器还包括：运动装置 110，用于在光束的范围内运动滤波器 10。例如，可以制造这样的自动反馈系统，它使滤波器的位置与合适的衰减度相关。或者，提供一个传动装置 110，使滤波器的位置相应地逐步前进。

在操作时，滤波器 10 是沿着光路径放置的，它有一个仔细设计的夹角 θ ，如图 2 中的虚线所示。夹角 θ 的变化范围是从 -80° 至 80° ，根据应用的情况进行选择。例如，在多数情况下，该夹角小于几度，但在应用中可以增大到 45° ，要求把反射的光完全偏离开光源。

滤波器 10 是这样放置的，其前反射面朝向射来的光束。具体地说，滤波器 10 是这样放置的，光束的横截面至少重叠到部分的滤波器上。最好是，光束是准直的，然而，这不是必要的。

当光束射到孔上时，更一般地说，当光束射到有多个孔的薄膜 40 时，部分的光束透射，其余部分的光束被反射。根据熟知的光学原理，透射光发生衍射。透射光的衍射图案包括明亮的‘零级’光斑，其周围是多个高级光斑。衍射图案的角宽度与孔的直径成反比。基本上与波长无关的零级透射光束对应于所要求的衰减辐射。

当滤波器沿平行于梯度轴方向或垂直于光路径运动时，透射光的百分比从低衰减端 30 处的 100% 变化到高衰减端 20 处的 0.1%，取决于孔的尺寸和分布图案。具体地说，衰减度取决于光束路径中孔的图案。例如，为了得到 30 dB 的衰减，该区域上的孔必须覆盖面积的 3.1%，或者比它们之间距离小 5.6 倍。

上述的缓变孔适合于许多的应用。特别是，它非常适合于光纤领域，其中滤波器的耐久性，高功率能力，和与波长无关的性质是非常有利的。

给出一个典型的例子，考虑图 3 所示的缓变孔滤波器。第一个输入光波导 70 给准直透镜 80 提供输入信号（例如，电信信号），准直透镜 80 接着提供准直光束给滤波器 10。透射通过滤波器 10 的零级光被会聚透镜 90 会聚到第二个输出光波导 100 的一端。在光束的范围内运动滤波器 10 的装置 110 控制所要求的衰减度。一般地说，准直光束的直径约小于 1 mm。

利用安装在 JDSU HA9 型衰减器(JDS Uniphase of Nepean Ontario 制造)上的各种缓变孔滤波器，选取的原型测量结果给出在图 5-7 中，其中图 5a 和图 5b 表示衰减度与波长之间的关系，图 6 表示偏振依赖损耗与衰减度之间的关系，而图 7 表示衰减度与滤波器位置之间的关系。

观察到相对于波长关系和偏振依赖损耗的线性度，每种线性度给出缓变孔滤波器特有的性能。

在本发明的另一个实施例中，薄膜上覆盖着另一个玻璃衬底或薄膜沉积在厚玻璃片内。这个实施例有附加的优点，它能去除衰减器对灰尘或其他障碍物的灵敏性。具体地说，外层玻璃防止灰尘直接堆积在薄膜的表面。外层玻璃上的灰尘堆积产生一个阴影，它被衍射成覆盖许多孔。此外，在这个实施例中，孔中充满透明胶或其他透明物质，例如，另一个保护层。

在另一个实施例中，滤波器制作成各种形状。例如，滤波器制作长圆形，缓变孔形成环形梯度。衰减度是通过旋转滤波器而变化的。

在本发明的另一个实施例中，孔的尺寸不变化。因为分布图案是这样的，每单位面积的孔数目是沿滤波器的距离而变化，就产生可变的衰减度。

在另一个实施例中，多个缓变孔滤波器放置在光束的路径上以增大衰减度。或者，光学装置允许光束多次传播通过滤波器以增大衰减度。

总之，缓变孔滤波器有许多优点。该滤波器是高度耐用的，且在高功率应用中工作得很好。在上述的一个实施例中，其中滤波器的非透射区域是高反射的，该滤波器容许高功率光入射在其上面，基本上避免吸

收这个光。此外，滤波器因温度升高发生的很小变化不会严重改变该滤波器的性能。

在制造时，成本是合理的，且重复性很高。此外，滤波器在很宽的频谱范围内工作得很出色。

此外，本发明提供一种适合于高功率应用的简单滤波器，与波长的关系基本上是不灵敏的。具体地说，恰当地加工尺寸，形状，和孔的间隔以及薄膜的厚度制作成这样一个滤波器，其衰减度基本上与入射光的波长和/或偏振无关。

当然，在不偏离本发明精神和范围的条件下，可以想象出许多其他的实施例。例如，孔有各种尺寸，形状，间隔和/或分布的任意组合的滤波器也是可能的。

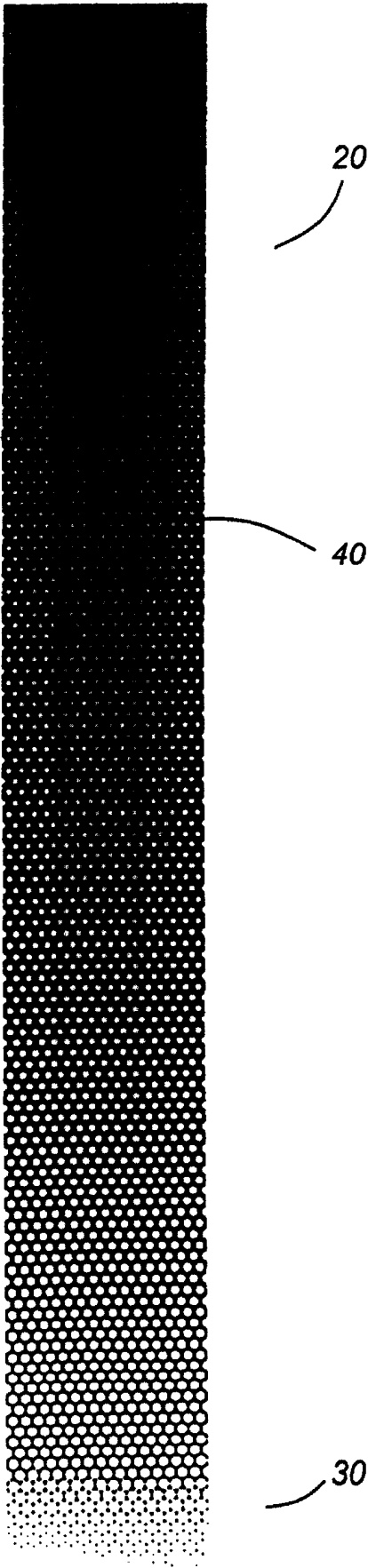


图1

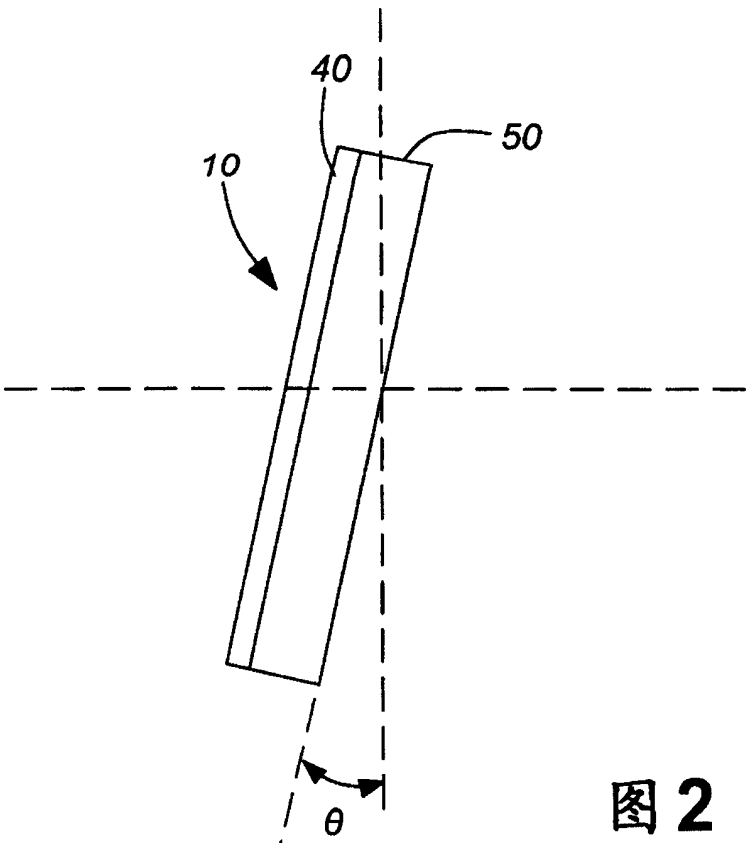


图 2

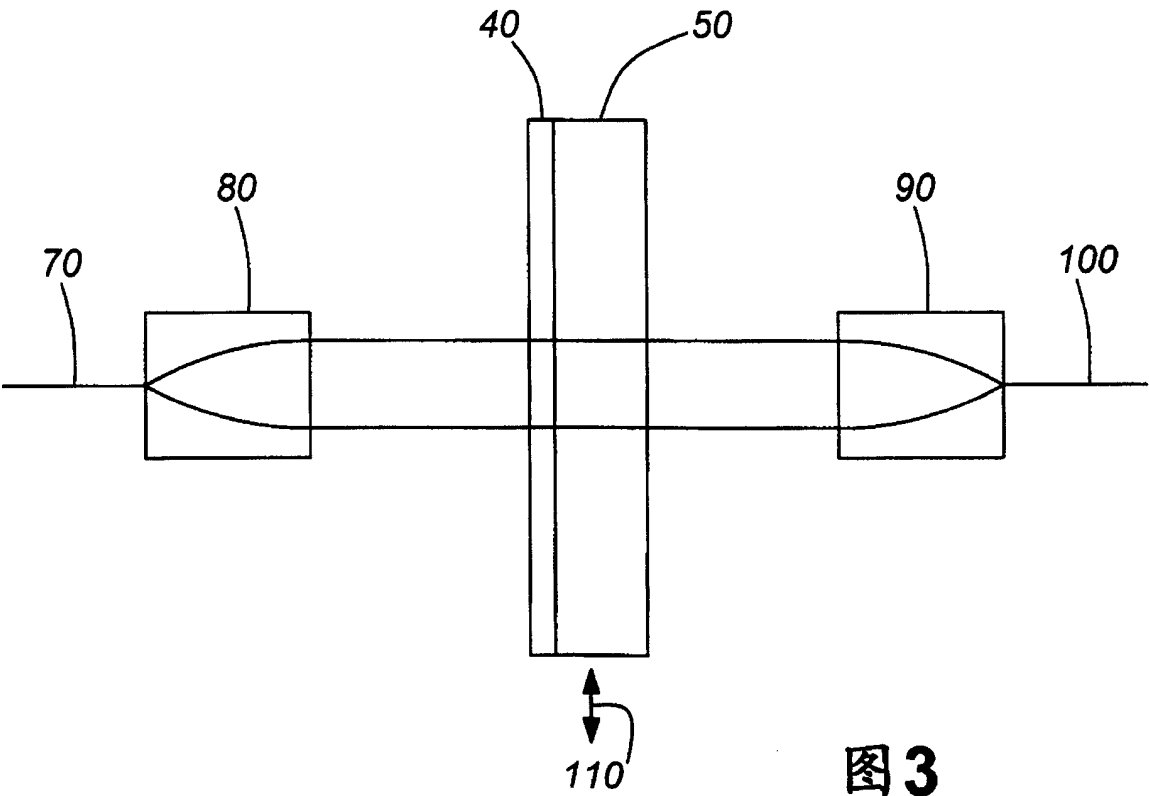
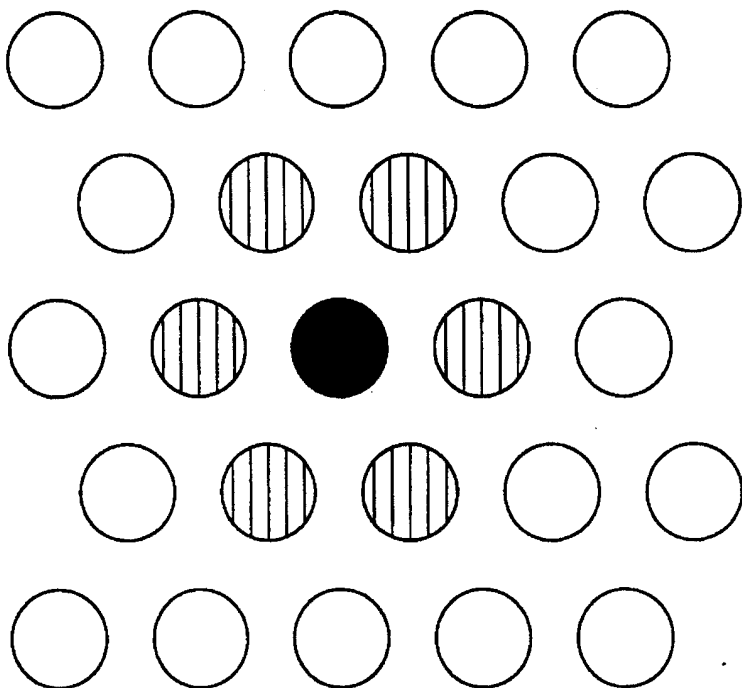
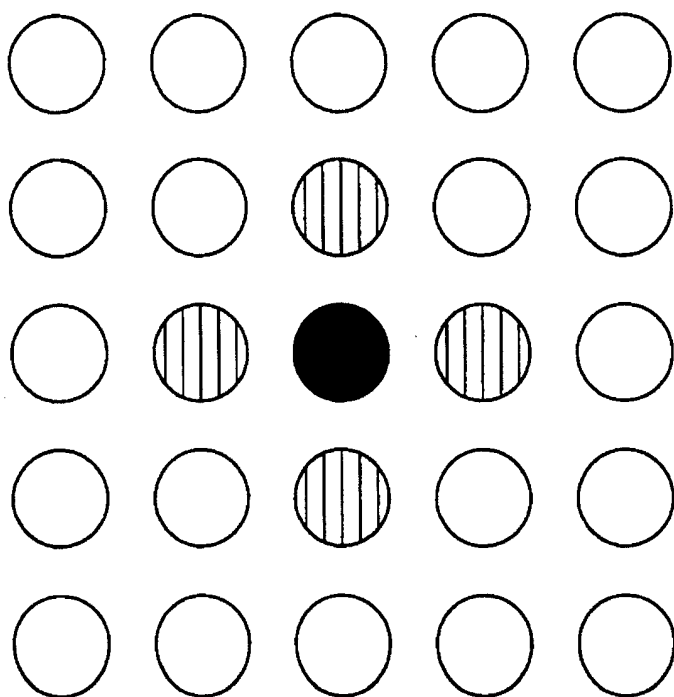


图 3

**图4A****图4B**

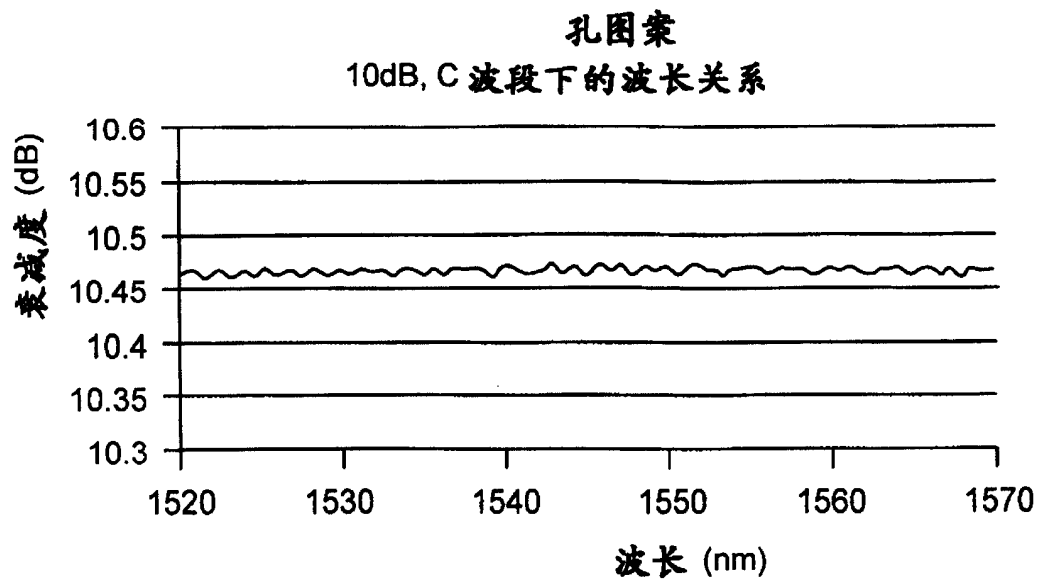


图 5A

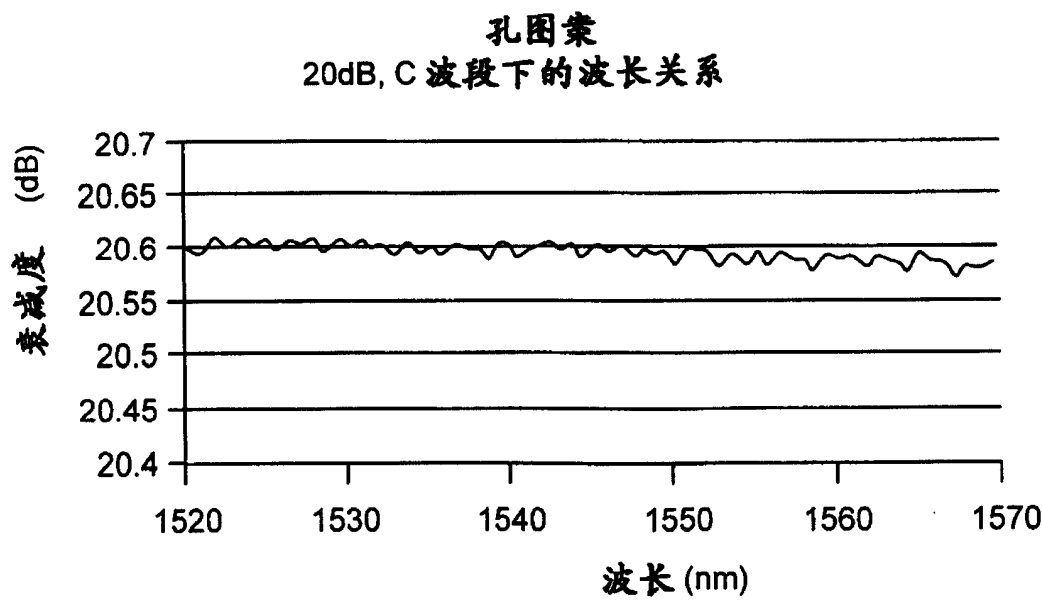


图 5B

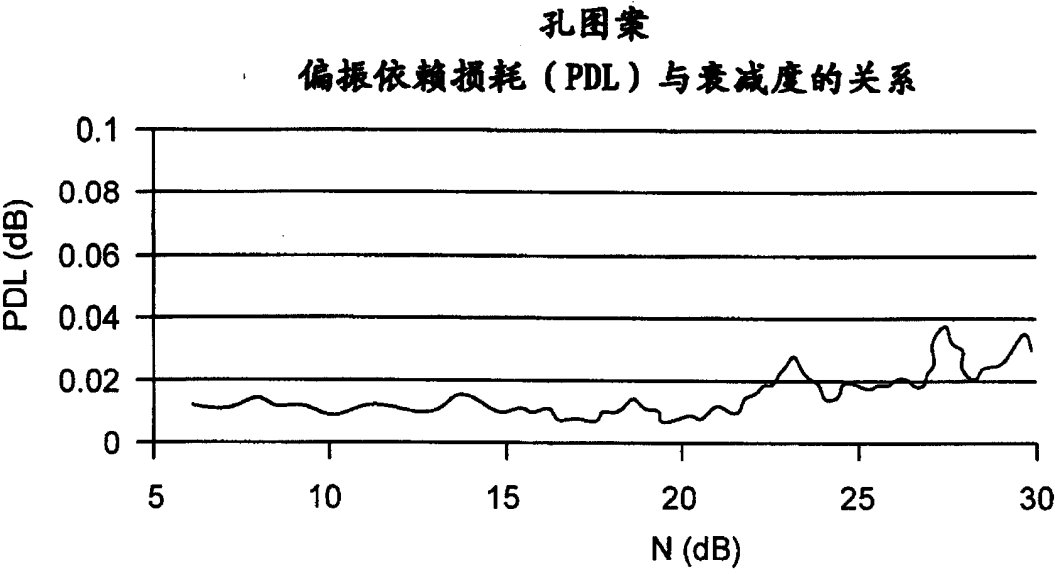


图 6

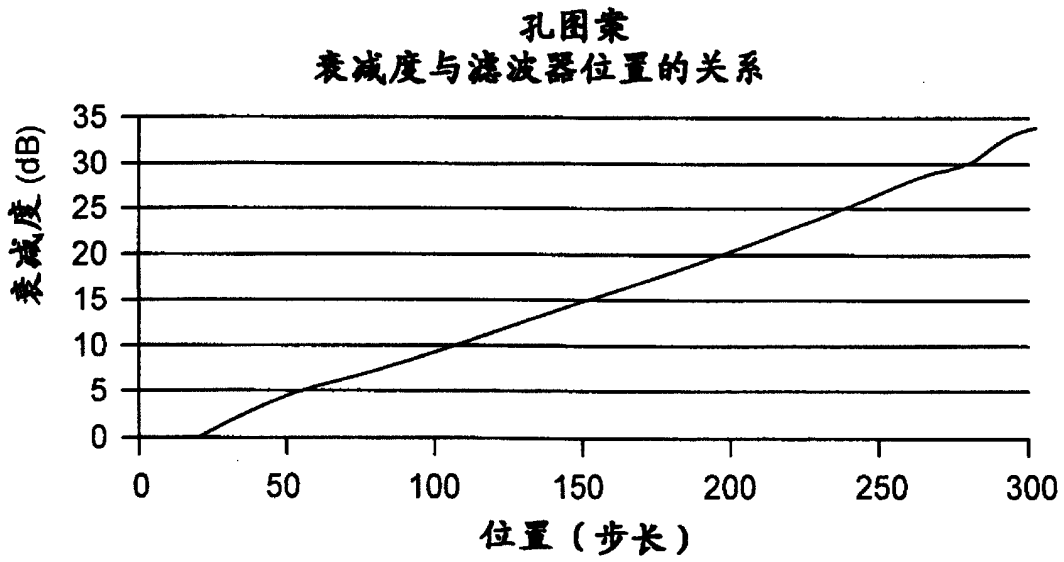


图 7