

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 99805852.1

[43] 公开日 2001年6月13日

[11] 公开号 CN 1299475A

[22] 申请日 1999.5.5 [21] 申请号 99805852.1

[30] 优先权

[32] 1998.5.8 [33] US [31] 60/084,822

[86] 国际申请 PCT/US99/09776 1999.5.5

[87] 国际公布 WO99/59025 英 1999.11.18

[85] 进入国家阶段日期 2000.11.6

[71] 申请人 密执安州立大学

地址 美国密执安州

[72] 发明人 M·N·伊斯兰 G·A·诺瓦克

T·J·夏

[74] 专利代理机构 上海专利商标事务所

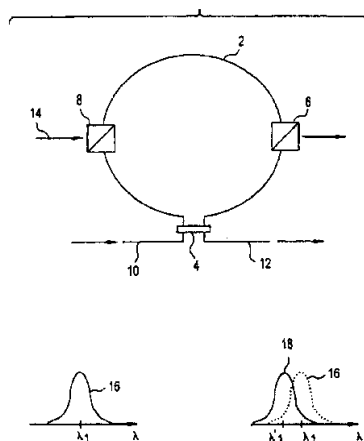
代理人 吴蓉军

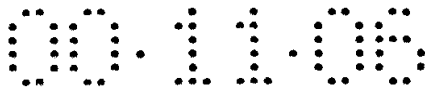
权利要求书 3 页 说明书 9 页 附图页数 7 页

[54] 发明名称 在波导光纤长度上的孤子脉冲传输

[57] 摘要

所揭示的是一种对在长距离的波导光纤(34)上传播的孤子信号进行滤波和调频的光路。该光路利用非线性光学环路镜(NOLM)(36)的滤波性能。控制在 NOLM 中共同传播的控制脉冲和信号脉冲之间的时间差以增加或减小信号脉冲的形心偏移。从孤子脉冲的单个流产生信号和控制脉冲流。NOLM 用来与它上移或下移孤子信号脉冲的形心频率同时滤波来自孤子信号脉冲的低功率噪声。可在 100km 长的线路上不用电子学方法再生的情况下,将该光路插在沿着波导光学传输线的有利点上以允许传播孤子。





权 利 要 求 书

1. 一种对在光路中传播的孤子进行滤波和调频的光路，其特征在于，所述光路包括：

具有端子和长度的非线性光学环路镜；

具有至少两个输入端和两个输出端的第一耦合器，其中所述光学环路镜的每个端子都光学连接到所述第一耦合器的各输出端；

具有至少一个输入端和输出端的抽头耦合器，其中将所述端子光学耦合到沿着所述光学环路镜长度的一点上；

具有至少一个输入端和两个输出端的分裂耦合器，由第一光纤将第一个分裂耦合器的输出端光学连接到所述第一耦合器的第一输入端，并由第二光纤将第二个分裂耦合器的输出端连接到所述抽头耦合器的输入端；

其中，选择所述第一和第二光纤的各长度以提供孤子在所述各分裂耦合器输出端和沿着所述光纤环路镜的所述点之间的光路中传播的预选时间差，其中在所述点处将所述抽头耦合器光学耦合到所述光学环路镜；和

其中，所述传播时间差足够小以在光学环路镜中提供从所述抽头耦合器的所述输出端耦合到所述光学环路镜的孤子与从所述第一耦合器的所述第一输入端耦合到所述光学环路镜的孤子的重叠，其中后一孤子与由所述抽头耦合器耦合的孤子共同传播。

2. 如权利要求 1 所述的光路，其特征在于，在所述共同传播孤子之间的传播时间差不大于三倍 T ，其中 T 是表示为在孤子的一半最大功率点之间的时间间隔的所述孤子脉冲宽度。

3. 如权利要求 1 所述的光路，其特征在于，所述抽头耦合器是第一偏振选择抽头耦合器，它将特定偏振的孤子耦合到所述光学环路镜。

4. 如权利要求 3 所述的装置，其特征在于，还包括光学耦合到所述光学环路镜以去除通过所述第一偏振选择抽头耦合器耦合到所述环路镜的偏振孤子的第二偏振选择抽头耦合器，其中相对于沿着所述耦合偏振孤子的传播方向的所述第一偏振选择抽头耦合器的所述耦合点，带有所述光学环路镜的所述第二偏振选择抽头耦合器的所述耦合点在沿着所述光学环路镜长度的较远处。

5. 如权利要求 4 所述的光路，其特征在于，还包括光学加入所述各第一和第二波导光纤的两个偏振调节部件，其中通过所述各偏振调节部件的孤子脉



冲具有偏振轴，在所述轴之间形成一预选夹角。

6. 如权利要求 5 所述的光路，其特征在于，所述夹角是 90° 。

7. 如权利要求 5 所述的光路，其特征在于，所述夹角是零。

8. 如权利要求 1 所述的光路，其特征在于，还包括通过第三波导光纤光学连接到所述第一耦合器的所述第二输入端的光学带通滤波器，其中所述光学滤波器的所述通带的中心波长从离开所述分裂耦合器的孤子的中心波长偏置一预定量。

9. 如权利要求 8 所述的光路，其特征在于，所述光学带通滤波器的所述中心波长的所述预选偏置在大约 $\pm 2\text{nm}$ 的范围内。

10. 如权利要求 8 所述的光路，其特征在于，还包括光学加入所述第三波导光纤的光学放大装置。

11. 如权利要求 10 所述的光路，其特征在于，从包括集中掺铒光学放大器、分散掺铒光学放大器和半导体光学放大器的一组中选出所述光学放大装置。

12. 如权利要求 1 所述的光路，其特征在于，在指向所述抽头耦合器的所述输入端的孤子和指向所述第一耦合器输出的所述第一输入端的孤子之间的传播时间差是正的。

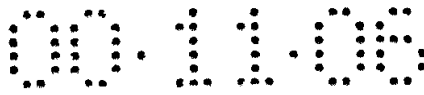
13. 如权利要求 1 所述的光路，其特征在于，在指向所述抽头耦合器的所述输入端的孤子和指向所述第一耦合器输出的所述第一输入端之间的传播时间差是负的。

14. 如权利要求 12 或 13 所述的光路，其特征在于，包括所述光学环路镜的波导光纤的长度是在大约 200m 到 2km 的范围内，而且所述波导光纤在 1400nm 到 1600nm 的范围内具有零散射长度。

15. 如权利要求 1-13 中任一权利要求所述的光路，其特征在于，光学加入所述第一或第二波导光纤的可变时间延迟部件。

16. 如权利要求 15 所述的光路，其特征在于，选择所述分裂耦合器以在所述第一波导光纤和所述第二波导光纤之间以在大约 $10\%::90\%$ 到 $90\%::10\%$ 的比率范围内的一比率分裂孤子的输入功率。

17. 如权利要求 15 所述的光路，其特征在于，所述第一耦合器以在大约 $30\%::70\%$ 到 $70\%::30\%$ 的范围内的一比率划分传输到所述光学环路镜的各端子的孤子功率。



18. 如权利要求 1 所述的光路，其特征在于，还包括光学加入所述第二波导光纤的光学放大器。

19. 如权利要求 18 所述的光路，其特征在于，从包括集中掺铒光学放大器、分散掺铒光学放大器和半导体光学放大器的一组中选出所述光学放大装置。

20. 如权利要求 19 所述的光路，其特征在于，所述光学放大器是半导体光学放大器，它相对于进入所述第一耦合器的所述第一输入端的孤子的波长偏移进入所述抽头耦合器的孤子的波长；所述光路还包括波长可选择的第二抽头耦合器，其中将所述第二抽头耦合器光学耦合到所述光学环路镜以去除由所述第一抽头耦合器耦合的波长偏移孤子；相对于沿着所述耦合波长偏移孤子的传播方向的所述第一抽头耦合器的耦合点，所述第二抽头耦合器与所述光学环路镜的耦合点是沿着所述光学环路镜的长度的较远处。

21. 如权利要求 1 所述的光路，其特征在于，还包括在所述非线性光学环路镜内的偏振调节装置。

22. 一种用于传输孤子脉冲的光学波导光路，其特征在于，包括：

根据如权利要求 1-13 或 14-20 中任一权利要求所述的第一光路，其中分裂耦合器的输入端光学地耦合到带有孤子的延伸的波导光纤长度上；

根据如权利要求 1-13 或 15-20 中任一权利要求所述的第二光路，其中由第二延伸长度的波导光纤将所述第二电路的所述分裂耦合器的所述输入端光学连接到所述第一光路的所述第一耦合器的所述第二输入端。

23. 如权利要求 22 所述的光学波导光路，其特征在于，所述第一延伸波导光纤长度是在大约 25km 到 50km 的范围内。

24. 如权利要求 22 所述的光学波导光路，其特征在于，所述第二延伸波导光纤长度是在大约 50km 到 75km 的范围内。

25. 如权利要求 23 或 24 所述的光学波导光路，其特征在于，第一或第二延伸波导光纤长度包括至少一个光学放大器和至少一个光学带通滤波器。



说 明 书

在波导光纤长度上的孤子脉冲传输

发明背景

本发明依据临时申请 S. N. 60/084, 822 (5/8/98 申请), 我们要求该申请的优先权。

本发明涉及用于在信号穿过波导光纤一段长度之后恢复光信号的形状和频谱的光路。具体地说, 本光路用于在不用电子再生的情况下在很长的波导光纤上保留孤子形状。

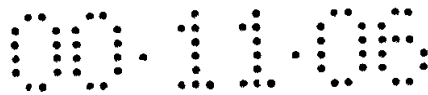
现有技术中已知在波导光纤上孤子传输信息的价值。在没有电子再生的情况下, 可以在长光纤上基本上无散射地传输脉冲的可能性激励人们在延长的传输线上保持孤子信号完整性的领域中不断研究。随着引入衰减在每公里几十 dB 范围内的波导光纤和光学放大器, 在高比特速率系统中或者那些利用波分多路复用的系统中选择传输方法时, 孤子变得越来越引人注目。

在运用孤子信号时所要注意的一个问题是如何控制孤子时间窗口的变化(通常称为定时信号跳动(timing jitter))以避免与附近脉冲重叠。此外, 人们应滤去因其在沿着光纤传播期间经历形状变化时, 孤子脉冲的泄能(energy shedding)所引起的噪声。噪声还由在光放大器中放大自发发射(amplified spontaneous emission)所引起。

在比特率大于 50Gb/sec 的情况下, 孤子脉冲宽度必须小于大约 5ps 以避免在邻近孤子时间窗口之间重叠。该脉冲宽度一般足以使在传输的接收机端的误差减至最小。与此同时, 这些短脉冲宽度的孤子周期必须保持相对于较佳光放大器的间距(即大约 25km)要短。于是, 需要去除孤子的能量损耗, 从而信噪比在理想的水平上、消除码元间干扰且光放大器不因噪声信号的存在而饱和。

另一个考虑是由于脉冲波长频谱的差分 Raman 放大而引起的窄时间宽度孤子的自频移(self-frequency shift)。为了保持在理想的低衰减操作窗口内以及在光放大器的增益频谱内的孤子波长, 应补偿该偏移。

在美国专利 5, 757, 529(Desurvire 等人申请的('529))中描述了运用非线性光环路镜(non-linear optical loop mirror)(NOLM)对孤子定时信号跳动的控制。在'529 专利中, 将环路镜用作通过 NOLM 优先交换孤子信号来排除系统



噪声的开关。交换是由将控制脉冲流引入 NOLM 所导致的。信号脉冲和控制脉冲在时间的重叠决定了 NOLM 的交换特征。由于在信号脉冲和控制脉冲之间的相对定时差十分关键,所以'529 专利提出了时钟提取或恢复光路来从信号孤子产生时钟信号。这种时钟恢复光路使采用 NOLM 的光路成本高且复杂。在一些时钟电路中,采用电子-光学装置。

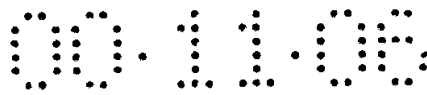
于是,需要相对简单和低成本的装置以在孤子信号穿过大约 25km 的波导光纤之后恢复它的形状。此外,还需要解决在不采用精密的昂贵的光学或电光路的情况下孤子信号的自频移问题。在本申请中揭示和描述的本发明使得包括 NOLM 的光路成为简单和低成本的,它同时去除了传输光路噪声并恢复了孤子信号的原始频谱。

发明概述

本发明是一种调频孤子脉冲和噪声滤波的光路。该光路包括其端子光学连接到 NXN 或第一耦合器的输出端的 NOLM,其中 N 至少为 2。信号脉冲光学耦合到耦合器的一个输入端,于是该信号脉冲分为在 NOLM 中传播的顺时针(CW)和逆时针(CCW)脉冲流。将抽头耦合器(tap coupler)光学耦合到沿着 NOLM 的长度上的一个点。把控制脉冲流输入到抽头耦合器,它然后将控制脉冲耦合到 NOLM。信号脉冲和控制脉冲都可起源于单个光学孤子源。源将孤子流光学耦合到分裂耦合器(splitting coupler)的输入端,该分裂耦合器将孤子流分成控制脉冲流和信号脉冲流。根据抽头耦合器沿着环路镜耦合控制脉冲的方向,控制脉冲将与 CW 或 CCW 传播信号脉冲之一一起传播。在可构成光路以在控制脉冲和 CW 或 CCW 传播信号脉冲之间交互作用的方面,光路是对称的。因此,应理解这里给出的光路的描述同样可用于 CW 或 CCW 传播信号脉冲和控制脉冲的交互作用。

在分裂耦合器和抽头耦合器之间的光学路径是在两个耦合器之间光学连接的光纤。如此,在分裂耦合器和第一耦合器的输入端之间的光学路径是光纤。在控制脉冲和信号脉冲之间的交互量根据两组脉冲在穿过光学环路镜时的重叠量而定。通过选择连接各耦合器端口对以提供信号脉冲相对于控制脉冲的预选超前时间和滞后时间的两个光学纤维的长度,来控制该重叠量。

控制脉冲与共同传播信号脉冲的交互作用产生信号脉冲的形心波长(centroid wavelength)和相位(相对于逆传播信号脉冲)的偏移。可根据控制



脉冲是否超前或延迟共同传播信号脉冲，来上移或下移形心波长。共同传播信号脉冲的相移量根据在控制和信号脉冲之间的超前于是或滞后时间的幅度。

选择连接波导光纤的长度允许选择在 NOLM 中共同传播信号脉冲的形心和相移量。

此外，NOLM 反射由于孤子的功率泄出(power shedding)或者由于放大自发发射所致的杂散(stray)能量波形(噪声)。由于杂散脉冲的幅度低于发生非线性脉冲偏移的等级，所以在 CW 和 CCW 传播噪声之间没有发生任何相移，从而通过第一耦合器时它们不被交换。

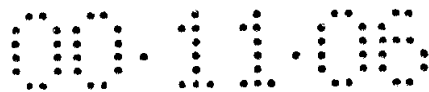
于是，这里所揭示的光纤光路用来偏移共同传播信号脉冲的形心波长、偏移共同传播信号脉冲的相位以通过第一耦合器抵消交换信号脉冲并去除在光纤光路中积累的低幅度噪声。可选择形心偏移来抵消由跨孤子频谱的差分 Raman 增益所致的孤子的任何形心偏移。在不用时钟提取电路或从信号孤子源分离出的源中的同步控制脉冲的情况下，完成这些功能。

在光路的一个实施例中，控制脉冲相对于共同传播信号脉冲的超前或滞后时间是在大约 3 倍 T 的范围内。这里 T 是孤子脉冲宽度，以在孤子的一半最大功率点之间的时间间隔表示。

本发明的实施例包括在连接到抽头和第一耦合器的一个或两个波导中的偏振调节分量。给予控制脉冲一个相对于信号脉冲的偏振的预选偏振，从而控制脉冲可与信号脉冲交互作用，然后可运用偏振选择耦合器从环路镜光纤中方便地去除它。各控制和信号脉冲的相对偏振是如此的，从而控制脉冲和共同传播信号脉冲之间的交互作用能有效地产生信号脉冲的理想的相移和形心偏移。落在本发明的范围内的另一些设计方案包括与信号脉冲相比的相对控制偏振，其范围从正交到平行。在控制和信号脉冲轴平行或近乎平行的情况下，还可用其他装置来从 NOLM 中滤出控制脉冲。这种装置包括光栅和波长或幅度鉴别器。

在另一个实施例中，抽头耦合器是偏振可选择的，以提供在光学环路镜中的偏振控制脉冲。在与共同传播信号脉冲交互之后，利用位于传播光学环路镜上沿着控制脉冲的传播方向的第二偏振选择抽头耦合器从光学环路镜中滤去控制脉冲。

在本发明的另一个实施例中，把带通滤波器插入通过光纤环路镜的信号脉冲的光学路径中，例如，光纤。本结构的优点是可选择带通滤波器的中心波长



来与退出 NOLM 的信号脉冲的形心相符。由于这里所用到的 NOLM 偏移形心，所以可设计一种光路来通过形心偏移光子，同时排除在原始孤子的波长附近的噪声。于是，信号脉冲通过带通滤波器，其功率损耗最小，同时反射或吸收在控制脉冲或原始信号脉冲的波长处的噪声脉冲。这是与上述运用相比的光纤光路的另一种运用，前者中包括 NOLM 的光纤光路是用来消除由于差分 Raman 增益所致的自频移。在 $\pm 2\text{nm}$ 范围内的信号脉冲形心偏移是可能的，从而带通滤波器的中心波长的偏置能够有效地滤波光子脉冲或在源孤子的波长处的噪声。

在另一个实施例中，可将光学放大器光学地加入携带通过光学环路镜交换的信号脉冲的光纤。该放大器用来抵消在环路镜中以及带通滤波器中的损耗。例如，该放大器可以是集中或分散掺铒光学放大器。此外，可采用半导体光学放大器。

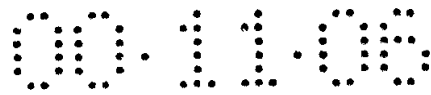
选择光学环路镜本身的波导光纤的长度以有效地允许在控制和信号脉冲之间的所需交互长度。非线性光学环境长度的大约 200m 至 2km 范围内。对于在波长范围约 1550nm 左右的信号脉冲，在 NOLM 中用到散射偏移光纤 (dispersion shifted fiber)，它是在大约 1400nm 至 1600nm 范围内散射为零的一种光纤。熟悉本技术领域的人员可用更长和更短的光纤环路镜长度。可将这些更长或更短长度加入本发明的光纤环路镜。

在本发明的另一个实施例中，第二波导光纤(或第一波导光纤)可包括可变时间延迟分量，从而可调节在信号和控制脉冲之间的相对延迟或超前时间。

本发明的附加实施例包括具有耦合到输出端的不同比率的那些例子。例如，第一耦合器可在光纤环路镜中传播的 CW 和 CCW 脉冲之间均匀划分功率。优势结构包括第一耦合器的耦合比在大约 30%:70%至 70%:30%的范围内的那些结构。同样，分裂耦合器输出的功率比可在大约 10%:90%至 90%:10%之间变化。

在本发明的特定实施例中，分裂耦合器向抽头耦合器提供大约 10%的输入光子功率。该结构提供退出光学环路镜的更高功率信号脉冲。可将光学放大器添加到第二光纤中，它将分裂耦合器光学地连接到抽头耦合器，以将控制脉冲幅度保持在足以通过控制脉冲对共同传播信号脉冲进行非线性交叉相位调制的等级。

在此第二连接光纤中的光学放大器可以是集中或分散光纤放大器或者半导体光学放大器。在后一种情况下，可选择半导体光学放大器以偏移控制脉冲



的波长。可选择将控制脉冲分别耦合到环路镜输出端的抽头耦合器为波长可选择。这是运用偏振选择抽头耦合器之外的另一方法。

可在设计用于孤子信号的长距离传输链路中使用上述光路。于是，本发明的附加方面是光学波导传输光路，它加入上述包括 NOLM 的一个或多个光路。把一个或多个这样的光路加到传输光路用来保持信号孤子的所需形状和信噪比，而不用求助于信号的电子再生。

在光学波导传输光路的实施例中，在 25km 到 50km 的波导光学之间传播孤子之后，插入光学环路镜光路。退出于该第一光路的信号可在需要另一个光学环路镜再次重新定型孤子信号脉冲之前穿过大约 50km 到 75km 的传输光路。

在光学波导传输光路的另一个实施例中，一些光学放大器或带通滤波器可光学地加入到在光学环路镜光路之前或之后的延长的光纤中。

在下面详细描述本发明的附加特点和优点，这些对于熟悉本技术领域的人员而言是显而易见的或者通过实践本发明可认识到的，包括下面的详细说明、权利要求书以及附图。

应理解，上述一般描述和下面的详细描述只用于说明本发明的示例，并用来提供理解本发明的本质和特征的概况或构架。所包含的附图用来进一步理解本发明，并包括在此以构成本说明书的一部分。附图描述本发明的各实施例，并结合说明来解释本发明的原理和操作。

附图的简述

图 1 是非线性光学环路镜 (NOLM) 的示意图。

图 2 是包括 NOLM 的光路的示意图。

图 3 是信号脉冲的示例波长偏移对控制脉冲的时间延迟的图。

图 4 是运用包括 NOLM 的两个光路的光学波导传输光路的示意图。

图 5 是与穿过包括 75km 光纤的光学传输光路和具有 NOLM 的两个光路的输出信号相比，输入信号脉冲的自相关图。

图 6 是与穿过包括 75km 光纤和具有 NOLM 的两个光路的光学传输光路输出信号脉冲相比，孤子脉冲强度对输入信号脉冲的波长的图。

图 7 是运用具有 NOLM 的两个光路的光学波导传输光路的示意图。

图 8 是与穿过具有或不具有一个或多个光路 100km 长的传输路的输出信号脉冲相比，输入信号的自相关图，其中每个光路包含一个 NOLM。

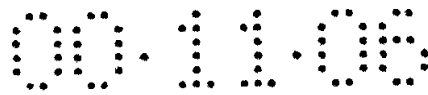


图 9 是与穿过 100km 长的有或没有包括 NOLM 的一个或多个光路的传输光路相比，孤子脉冲强度对输入信号脉冲的波长的图。

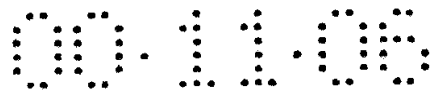
本发明的详细描述

现在，参照对本发明的较佳实施例的详细描述，在附图中示出其例子。在附图中，相同标号表示相同或相似部分。

图 1 示出包括 NOLM 的光路的基本示意图。将非线性光纤环路 2 的端子光学连接到耦合器 4。通过光纤 10，信号脉冲到达耦合器 4，并耦合到环路镜的环路 2 作为在环路 2 中传播的顺时针 (CW) 和逆时针 (CCW) 脉冲流。通过耦合器 8 把控制脉冲耦合到环路 2，在该实施例中加入了上述任一种其他选择方法，包括偏振、幅度或波长选择耦合器，从而在环路 2 中传播的控制脉冲具有将它们与信号脉冲区分开来的特殊性能。区别足以使得控制脉冲可以有选择地耦合出环路镜。但是在控制和信号脉冲之间的区别还不足以排除信号和控制脉冲的所需交互作用。如图 1 所示的情况，控制脉冲与 CW 传播信号脉冲交互作用。选择信号和控制脉冲之间的时间延迟以产生信号脉冲的所需相位和形心偏移。图 1 中的曲线 16 示出输入信号脉冲。将输入信号脉冲 16 与输出信号脉冲 18 相比示出了控制脉冲滞后信号脉冲并因此减小形心波长的情况。于是，脉冲 18 具有的形心波长 λ_1' ，它小于输入信号脉冲 16 的形心波长 λ_1 。这里，用术语形心表示代表脉冲的幅度对波长图的一次矩。用该定义来利用脉冲的峰值幅度波长定义脉冲。形心定义考虑到脉冲形状的非均匀性。

控制脉冲通过非线性效应和交叉相位调制使 CW 信号脉冲和控制脉冲进行交互用来改变 CW 脉冲相对于 CCW 脉冲的相位，从而 CW 和 CCW 至少在耦合器 4 是部分相位匹配的。于是，在耦合器 4 处发生相长干涉，且信号脉冲交换出 NOLM 到光纤 12。在控制脉冲没有引起信号脉冲中的相位变化的情况下，在耦合器 4 处只发生相消干扰且不发生交换。虽然与 CCW 脉冲相比，CW 的 180° 相移提供最大的相互脉冲功率交换，但是仍会在耦合器 4 处发生一部分功率的交换。由耦合器 6 将剩余控制脉冲功率滤出环路 6 以阻止在耦合器 4 处控制脉冲与 CW 和 CCW 相互脉冲的不必要交互作用。耦合器 6 可选择是偏振、幅度或波长敏感的。

下面，描述 NOLM 的交换和形心偏移功能。在光路中，在相互靠近的孤子之间存在吸引力，该吸引力偏移了控制和信号脉冲的光谱功率分布，从而偏移



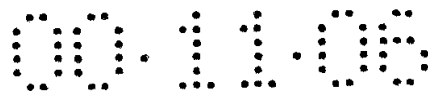
它们的各形心。如果控制脉冲超前信号脉冲，那么将增加信号孤子的形心(上述中心波长)。相反，滞后的控制脉冲将减小信号脉冲的形心波长。信号脉冲形心的增加或减小量依赖于信号和控制脉冲的传播时间差量。信号脉冲功率的频谱重分配表示为 CW 信号脉冲相对于 CCW 信号脉冲的相移。虽然在理解本发明的过程中该简化解释是有用的，但是这一说明的正确性不会影响所要求的本发明权利要求的范围。

除了交换和相移功能之外，NOLM 还用来反射可与信号脉冲一起传播的噪声。在耦合器 4 中，把噪声分成 CW 和 CCW 传播部分。由于噪声一般低于在环路光纤 2 中的非线性相移的幅度阈值，所以 CW 和 CCW 回到耦合器 4，而没有相对相移和不交换到输出光纤 12。

在图 2 中示意示出包括 NOLM 的光路。光子源(未示出)向分裂耦合器 20 提供脉冲流，后者把脉冲流分成控制和信号脉冲流。把偏振调节装置 22(例如，1/4 波片和 1/2 波片或 1/4、1/2 和另一种 1/4 波片的组合)设置在各控制脉冲路径和信号脉冲路径中。用光纤环路 2 中的偏振调节装置 22 来使在控制和信号脉冲的脉冲偏振平行的情况下，控制和信号脉冲交互效果最大。在正交偏振脉冲的情况下，装置 22 阻止具有除了正交偏振之外的光能量的泄漏。调谐这些偏振调节装置以提供交换出 NOLM 的最大信号功率。将光学放大器 24 光学连接在控制脉冲波导光纤路径以保证控制脉冲的幅度在环路光纤 2 的非线性区域中。运用放大器 24 是最佳的，因为它允许选择分裂器耦合器 20 来将大量源功率转向信号脉冲。由各控制和信号脉冲从耦合器 20 的输出端的点 A 到环路 2 上的点 B 的相对传播时间设定信号和控制脉冲的重叠，其中在点 B 处将控制脉冲耦合到环路 2 中。通过调节波导光纤的长度来设定重叠，其中波导光纤光学连接各信号和控制脉冲路径中的分量。利用这相对简单的光路，通过 NOLM 有选择地交换信号，反射来自孤子的功率外泄或放大器中的自发反射的杂散噪声能量，而且偏移形心一预选量。

放大器 24 可以是集中或分散光纤放大器或者半导体光学放大器。如上所述，半导体光学放大器可以有利地用来偏移控制脉冲的波长，从而可用波长有选择的抽头耦合器来从环路中除去控制信号。运用波长区分抽头耦合允许调节控制脉冲的偏振是平行或几乎平行于信号脉冲的偏振。

将可变时间延迟分量 26 引入控制信号的光路可使所提供的图 2 的光路更加灵活。熟悉本技术领域的人员已知光学时间延迟元件，且这里不再讨论。利



用可变延迟 26, 可调节控制脉冲的滞后或超前, 它反过来调节在环路 2 中的信号和控制脉冲的重叠量。于是, 可以调节信号脉冲的形心偏移和相位偏移量。例如, 人们可以调节可变延迟 (或光纤路径长度) 来消除由于 Raman 差分放大所引起的自频移。

图 3 的点线 28 示出当延迟改变时的实验信号脉冲。实线 29 是根据假定背景双折射 5×10^{-7} 的模型导出的理论曲线。在零延迟的情况下, 即, 信号和控制脉冲完全重叠的情况下, 没有形心移动。在大约 ± 1.7 ps 的时间延迟附近获得最大信号脉冲形心移动。形心偏移量是在大约 ± 2 nm 范围内, 它允许如此偏移信号, 从而利用窄带通装置滤波。

例子 1

根据图 4 组装光纤传输光路。环形激光器 30 产生 1560nm 处的窄脉冲 (470fs), 使它们通过 2nm 高斯带通滤波器 32 来将它们加宽到大约 1.5ps 的脉冲。在每个跨距 (span) 的第一光学放大器 24 之后的功率输出大约为 275 μ W, 与阶 $N=1.1$ 的孤子相对应。然后, 脉冲通过 25km 长的阶跃折射率光纤和光隔离器 38。分裂耦合器 20 分别以控制脉冲功率和信号脉冲功率之比为 75::25 的比率划分输入功率。耦合器 4 在第一 NOLM36 中的 CW 和 CCW 脉冲流之间平均划分信号功率以使 NOLM 中的噪声信号功率的反射最大。选择在信号和控制脉冲之间的延迟时间以消除在第一段 25km 长的波导光纤中拾取的孤子自频移。传输信号通过另一个隔离器 38、光学放大器 24 和 25km 长光纤 34、附加隔离器 38 到第二 NOLM36。第二 NOLM 耦合器中耦合器的配是如同第一 NOLM。通过第二 NOLM 交换信号脉冲, 且如上所述通过光学放大器、25km 长光纤以及一对隔离器。然后, 由第四光学放大器 24 最后一次放大信号并发送到接收机用于检测和测量。

图 5 和 6 示出测量结果。图 5 中的自相关功能示出在图 4 中的第一滤波器 32 之后检测到的输入脉冲 (曲线 42) 与退出第二 NOLM 的信号脉冲 (曲线 44) 的比较。由包括 NOLM 的光路基本上完全恢复孤子形状。曲线 46 是在它经过全部的 75km 传输光路之后测量到的信号脉冲。脉冲 46 基本上不示出任何噪声信号和大约三倍加宽脉冲。相反, 曲线 48 示出在信号横穿全部 75km 传输光路之后检测到的脉冲, 但是去除包括 NOLM 的两个光路。曲线 48 的噪声基础上升大于 10 的因子, 且宽度与输入脉冲 42 或 75km 脉冲 46 相比更宽。该示图表示由包括 NOLM 的光路提供的脉冲形状的显著进步。

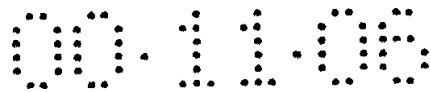


图 6 中的脉冲频谱图还示出在消除孤子自频移的过程中的 NOLM 的效果。曲线 50 示出输入脉冲。曲线 52 示出在信号脉冲退出第一 NOLM36 之后检测到的信号脉冲频谱。频谱偏移很小。同样，曲线 54 示出在信号脉冲穿过图 4 中的整个 75km 长的传输光路之后的信号频谱。可见各曲线 50、52 和 54 的形心几乎相同。曲线 56 示出已传输通过全部 75km 长的传输光路的信号的信号脉冲频谱，其中去除包括一个 NOLM 的每个光路。其频谱的形心偏移几个 nm，且大量改变频谱形状。

例子 2

如图 7 所示组装第二光学传输光路。该光路与图 4 的光路的区别在于在信号传输通过 50km 长的单模波导光纤之后设置包括 NOLM36 的第一光路。然后，在再次由位于 100km 传输光路末端的包括 NOLM 的光路调节并交换信号之前，将来自第一 NOLM36 的输出信号传输过附加 50km 长的单模光纤。将可变衰减器 40 加入每个放大器之后的光路中将以将孤子幅度调节到所需值。

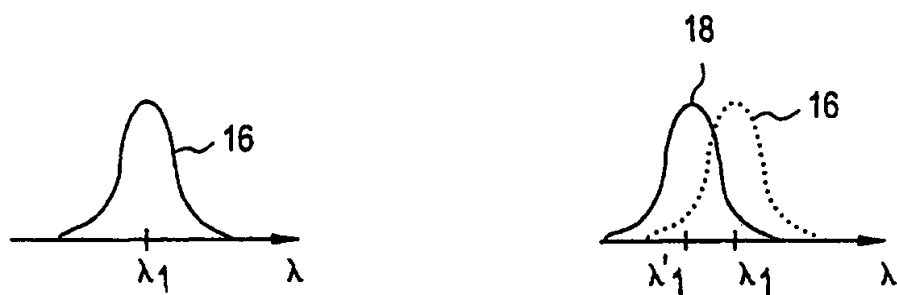
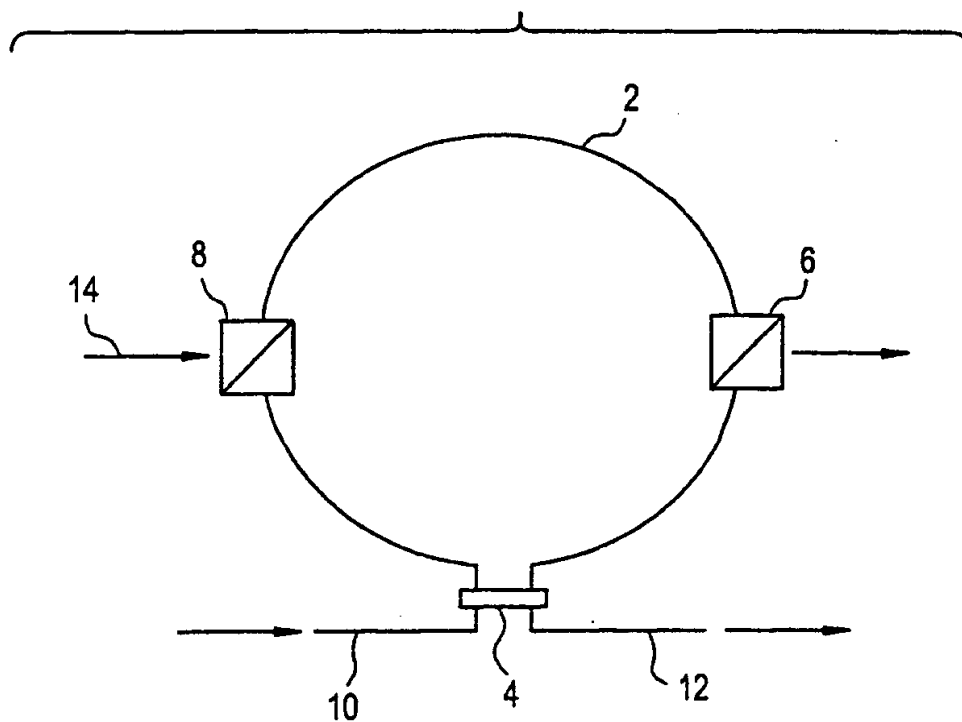
自相关的图示出包括 NOLM 的用于几乎完全恢复输入信号脉冲的形状和宽度的光路。在图 8 中，将输入脉冲 58 与传输通过 100km 长的单模光纤的输出脉冲 60 相比较。

图 9 的强度对波长图示出还在输出脉冲频谱 64 中几乎完全恢复输入脉冲 62 的频谱。

于是，包括 NOLM 的光路提供对信噪比、孤子形心波长的偏移的改进以补偿自频移并恢复孤子脉冲宽度。该光路相对简单，且提供在 100km 长的传输链路上的皮秒孤子传输。

熟悉本技术领域的人员应理解，在不偏离本发明的构思和范围的情况下，可对本发明进行各种修正和改变。于是，本发明包括对本发明的修正和变化，并落在所附权利要求书的范围内。

图 1



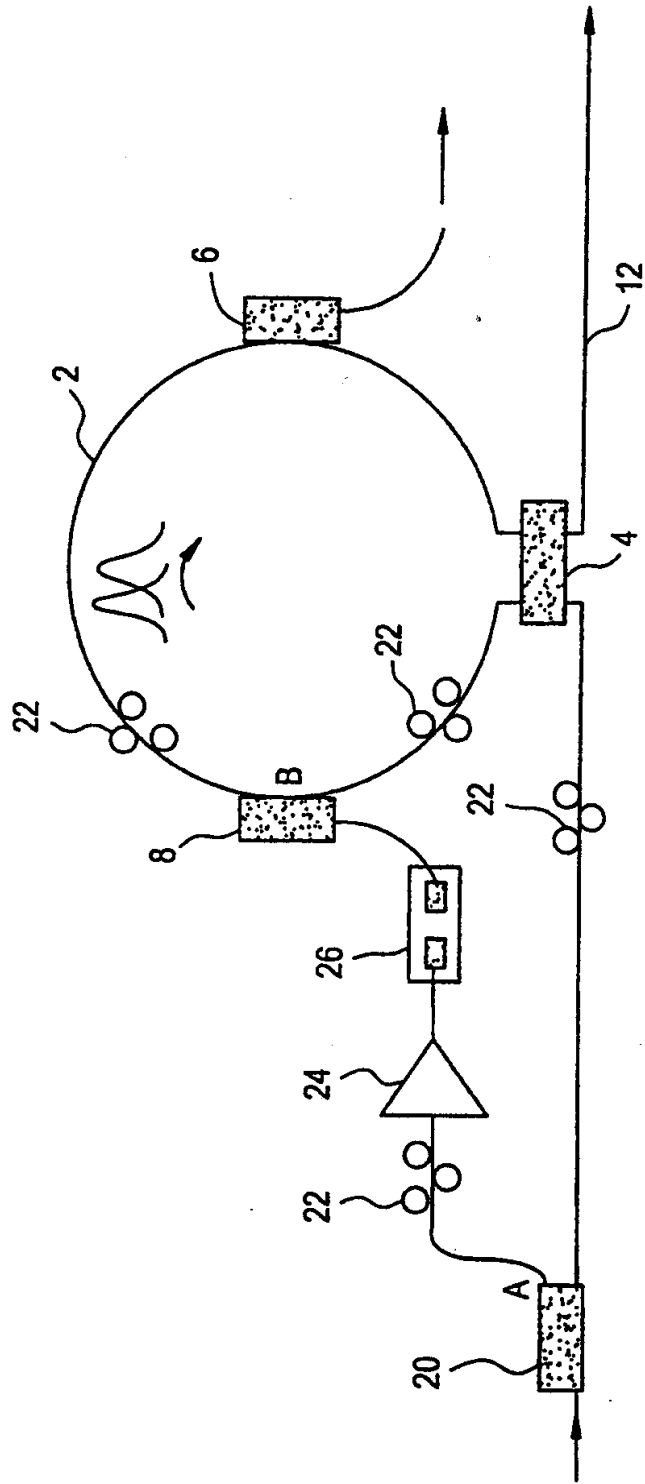


图 2

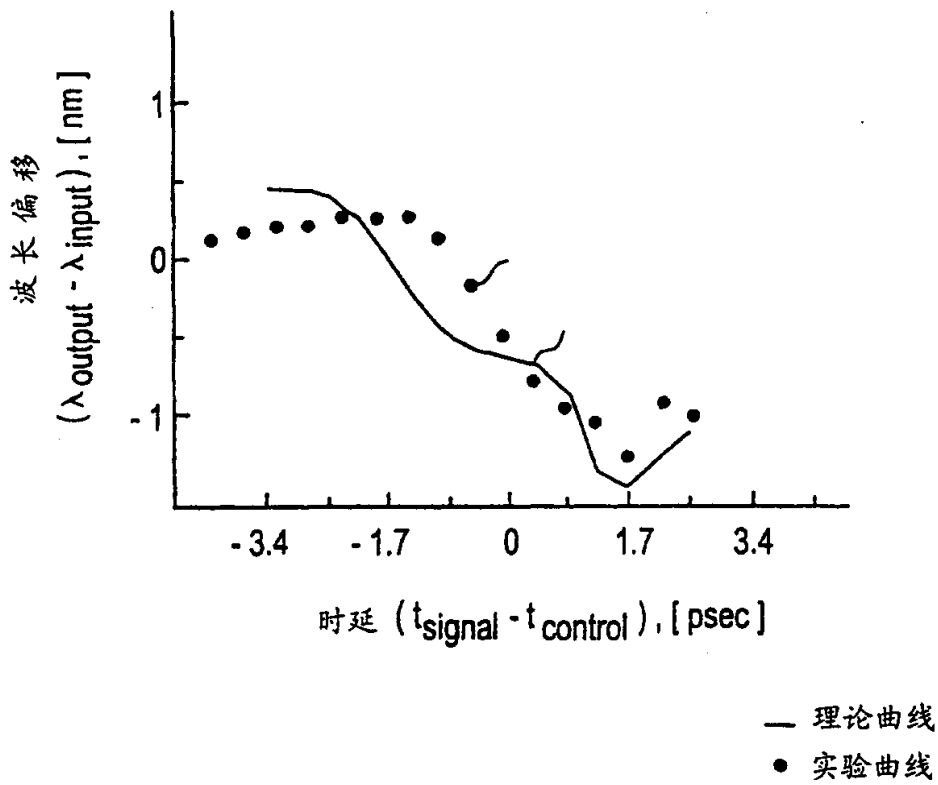


图 3

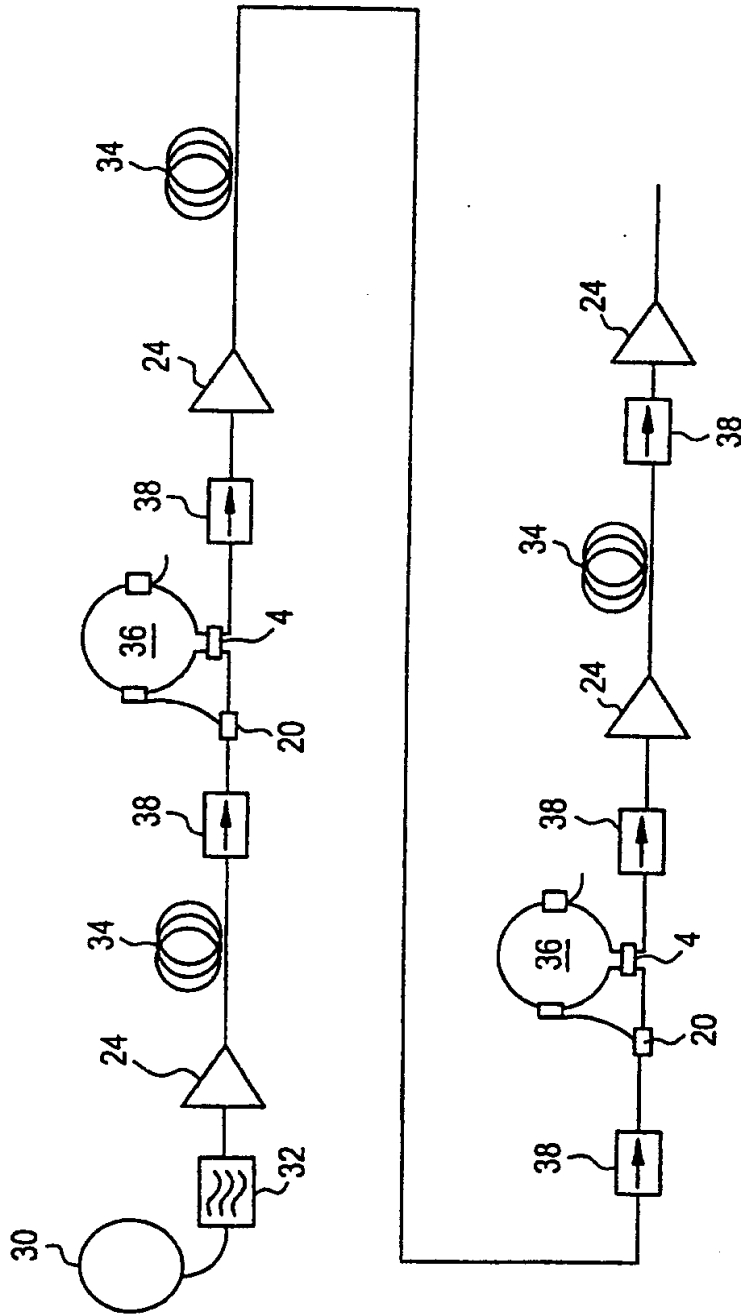


图 4

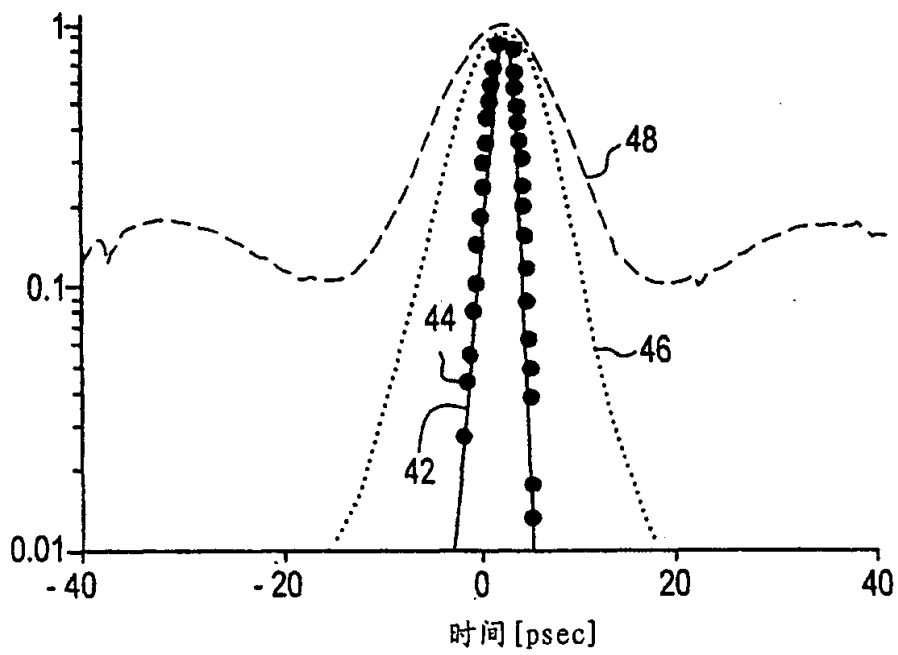


图 5

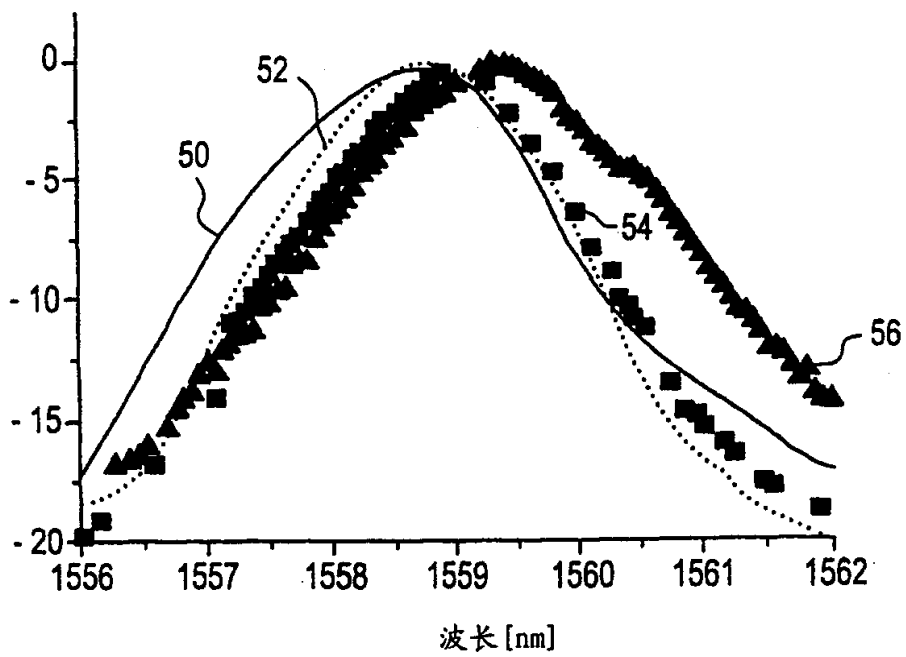


图 6

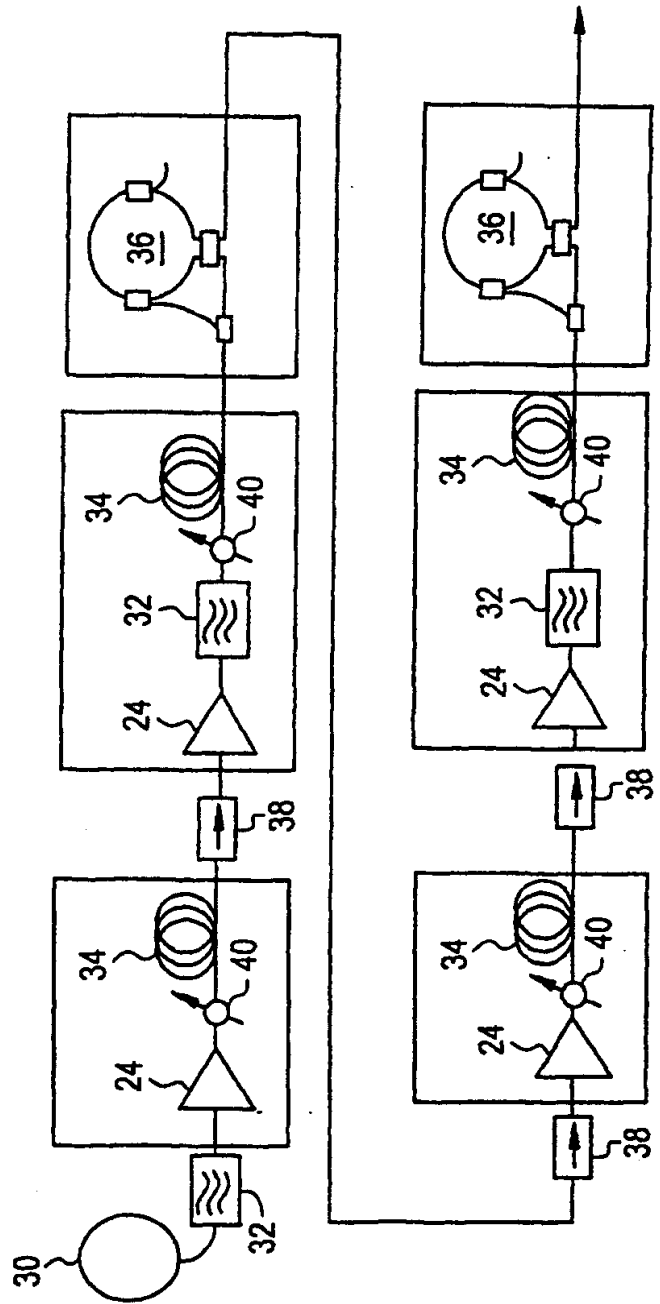


图 7

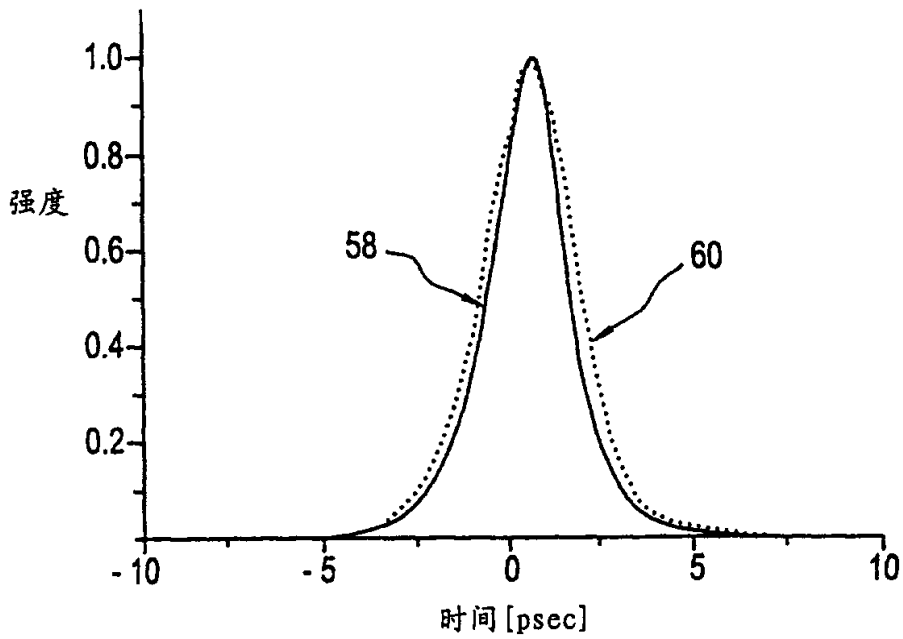


图 8

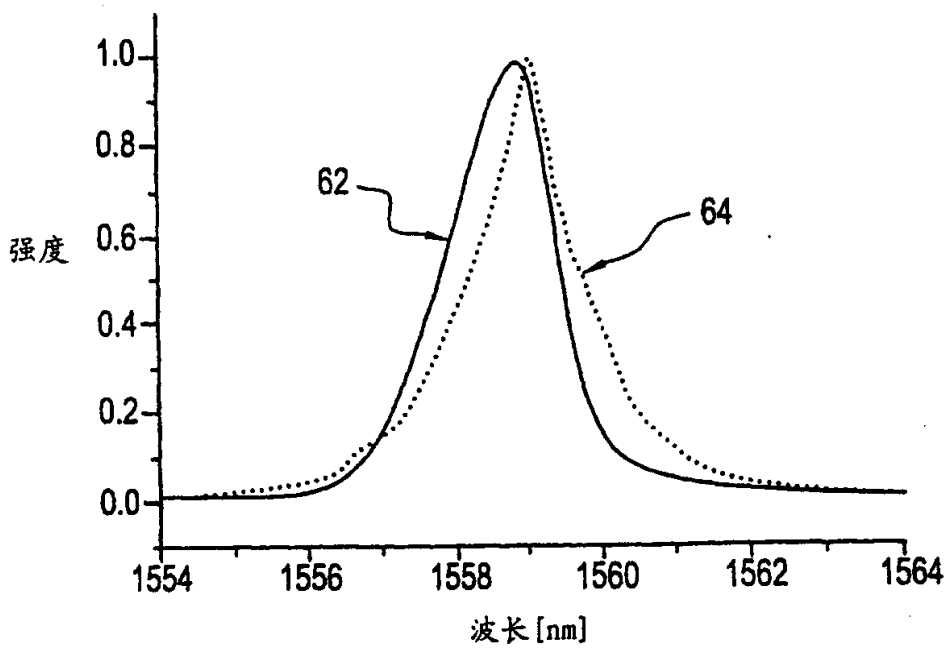


图 9