



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103529568 B

(45) 授权公告日 2015. 12. 23

(21) 申请号 201310497106. 2

(22) 申请日 2013. 10. 21

(73) 专利权人 上海交通大学

地址 200240 上海市闵行区东川路 800 号

(72) 发明人 张严 义理林 魏伟 毕美华

李正璇 尤伟志 郑燃 胡卫生

(74) 专利代理机构 上海旭诚知识产权代理有限公司 31220

代理人 郑立

(51) Int. Cl.

G02F 1/01(2006. 01)

H04B 10/2537(2013. 01)

(56) 对比文件

US 2008/0175595 A1, 2008. 07. 24, 全文.

CN 103091932 A, 2013. 05. 08, 全文.

B. Vidal, et al.. Tunable and reconfigurable photonic microwave filter based on stimulated Brillouin scattering. 《OPTICS LETTERS》. 2007, 第 32 卷 (第 1 期), 全

文.

Avi Zadok, et al.. Gigahertz-Wide Optically Reconfigurable Filters Using Stimulated Brillouin Scattering. 《JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY》. 2007, 第 25 卷 (第 8 期), 第 2170-2171 页及图 5.

Takuo Tanemura, et al.. Narrowband optical filter, with a variable transmission spectrum, using stimulated Brillouin scattering in optical fiber. 《OPTICS LETTERS》. 2002, 第 27 卷 (第 17 期), 全文.

审查员 马桂英

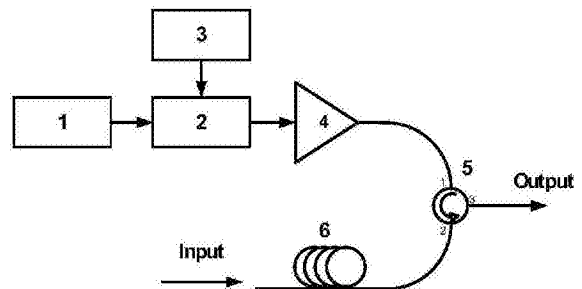
权利要求书1页 说明书5页 附图6页

(54) 发明名称

基于受激布里渊散射效应的矩形光滤波器系统

(57) 摘要

本发明公开了一种基于受激布里渊散射效应的矩形光滤波器系统,利用任意波形发生器(AWG)产生电信号并控制电信号的各个频率成分的幅度,进而可以达到控制泵浦光形状的目的,最后得到形状可控的增益谱。通过对增益谱的测量并进行反馈控制,可以最终得到顶部平坦、边沿陡峭的矩形滤波特性。在得到矩形增益谱之后,反馈机制就完成了任务,系统可以用来对真实信号进行滤波。这种矩形光滤波器的带宽以及工作波长均可调,带宽达到了 GHz 量级,解决了传统的无源光滤波器带宽在 10GHz 以下下降沿不陡峭的问题,同时克服了其它的基于受激布里渊散射效应的滤波器下降沿不够陡峭或者带宽太小等问题。



1. 一种基于受激布里渊散射效应的矩形滤波器系统,其特征在于,包括激光器、光调制器、任意波形发生器、掺铒光纤放大器、环形器以及 SBS 增益介质,所述环形器具有第一端口、第二端口和第三端口;所述激光器发出光信号,作为信号载波;所述任意波形发生器输出电信号;所述光调制器将所述任意波形发生器输出的电信号调制到所述激光器发出的光信号上;调制后的光信号通过所述掺铒光纤放大器进行放大作为泵浦光输入到所述环形器的第一端口,并从所述环形器的第二端口输出;所述环形器的第二端口和所述 SBS 增益介质连接,所述 SBS 增益介质产生 SBS,所述系统的输入信号沿着所述 SBS 增益介质传输,所述环形器的第三端口输出所述系统的输出信号;

所述系统设置为通过反馈机制,将泵浦信号在所述 SBS 增益介质中产生的增益谱反馈至所述任意波形发生器,相应调整所述任意波形发生器,进而调整所述泵浦光,控制所述系统的增益谱的形状,实现矩形滤波器。

2. 如权利要求 1 所述的矩形滤波器系统,其特征在于,所述 SBS 增益介质为光纤。

3. 如权利要求 1 所述的矩形滤波器系统,其特征在于,所述反馈机制离线工作,所述矩形滤波器系统在线滤波。

4. 如权利要求 1 所述的矩形滤波器系统,其特征在于,所述任意波形发生器被设置为可以产生不同频率成分的电信号,同时对各个频率成分的电信号的功率进行数字化控制。

5. 如权利要求 4 所述的矩形滤波器系统,其特征在于,所述任意波形发生器产生的不同频率成分的输出信号频率间隔为增益光纤的 SBS 带宽。

6. 如权利要求 1 所述的矩形滤波器系统,其特征在于,所述的激光器的工作波长为 C+L 波段。

7. 如权利要求 1 所述的矩形滤波器系统,其特征在于,所述光调制器为马赫曾德调制器。

8. 如权利要求 1 所述的矩形滤波器系统,其特征在于,所述掺铒光纤放大器为光增益模块。

9. 如权利要求 1 所述的矩形滤波器系统,其特征在于,所述环形器引导光传播方向,从所述环形器的第一端口输入的光信号从所述环形器的第二端口输出,从所述环形器的第二端口输入的光从所述环形器的第三端口输出。

基于受激布里渊散射效应的矩形光滤波器系统

技术领域

[0001] 本发明涉及光纤通信类,尤其涉及一种基于受激布里渊散射效应的矩形光滤波器系统。

背景技术

[0002] 在正交频分复用 (OFDM) 的解复用以及微波光子信号处理中,相邻信道的串扰会影响信号的质量。为了减小这种串扰,需要一个顶部平坦且边缘陡峭的类似矩形的窄带光滤波器。

[0003] 目前已有的一些窄带光滤波器技术,包括级联的法布里珀罗腔、基于硅基液晶的商用滤波器以及基于 SBS (受激布里渊散射效应) 的有源滤波器等,但是这些技术都存在一定的问题。

[0004] 对于级联的法布里珀罗腔:法布里珀罗腔可以作为一个光滤波器,通过级联,可以提高传输曲线的边缘陡峭程度。经对现有文献检索发现,文献 [Alboon S A, Lindquist R G. Flat top liquid crystal tunable filter using coupled Fabry-Perot cavities[J]. Optics express, 2008, 16(1):231-236.] (Alboon S A 等人《利用级联法布里珀罗腔的液晶可调谐顶部平坦滤波器》,光学快报,页码 231-236,2008) 中提出一种基于级联的法布里珀罗腔的可调谐光滤波器,多个法布里珀罗腔的级联可以大幅提升通带的平坦度并同时减小抖动。该方案可以得到 100GHz 的光滤波器,通过液晶的控制,该滤波器的可调谐范围可以达到 172nm。但在该方案中,滤波器的带宽无法做到 10GHz 以下,无法应用于较窄带宽的需求。

[0005] 对于基于硅基液晶:目前存在已经商用的光滤波器方案是基于硅基液晶的可调滤波器,例如 yenisata 公司的 XTA-50 可调滤波器。该滤波器的带宽可调范围是从 32pm(4GHz) 到 5nm,工作波长从 1260nm 到 1650nm,下降沿陡度可以达到 800dB/nm。在对滤波带宽较大的应用中,这样的陡峭程度足以得到很好的结果,但对于 GHz 量级的滤波需求来说,这样的下降沿仍然不够陡峭,对信号的影响比较大。

[0006] 对于基于 SBS 的有源滤波器:为了得到 GHz 量级带宽的光滤波器,有一些方案提出了基于 SBS 效应的有源光滤波器。经对现有文献的检索发现,文献 [Zadok A, Eyal A, Tur M. Gigahertz-wide optically reconfigurable filters using stimulated Brillouin scattering[J]. Journal of lightwave technology, 2007, 25(8):2168-2174.] (Zadok A 等人《基于受激布里渊散射的 GHz 带宽光可重构滤波器》,光波技术杂志,页码 2168-2174,2007) 中提出一种利用泵浦啁啾对布里渊过程进行控制,从而得到 GHz 带宽的可调滤波器的方案。实验中得到了 1.3GHz-2.5GHz 带宽的滤波器,边模抑制比达到 30dB。但该方案的缺点是得到的滤波器边缘下降平缓,不够陡峭,在实际应用中可能会引入相邻边带的影响,降低信号的质量。

发明内容

[0007] 有鉴于现有技术的上述缺陷,本发明所要解决的技术问题提供一种带宽可调,满足对滤波器带宽较大的要求,同时滤波器下降沿陡峭的滤波器系统。基于这种考虑,本发明提供了一种基于受激布里渊散射效应的矩形滤波器系统,其目的是解决现有光滤波器技术无法得到顶部平坦、边缘陡峭的滤波器传输曲线的缺陷。本发明中通过反馈控制的方式对泵浦光进行控制,从而控制滤波器的形状。在实现矩形滤波曲线的同时,滤波器的带宽以及工作波长都是可调的,带宽的调谐精度可以达到 20MHz 量级。

[0008] 为实现上述目的,本发明提供了一种基于受激布里渊散射效应的矩形滤波器系统,包括激光器、光调制器、任意波形发生器(AWG)、掺铒光纤放大器(EDFA)、环形器以及 SBS 增益介质,所述环形器具有第一端口、第二端口和第三端口;所述激光器发出光信号,作为信号载波;所述任意波形发生器输出电信号;所述光调制器将所述任意波形发生器输出的电信号调制到所述激光器发出的光信号上;调制后的光信号通过所述掺铒光纤放大器进行放大作为泵浦光输入到所述环形器的第一端口,并从所述环形器的第二端口输出;所述环形器的第二端口和所述 SBS 增益介质连接,所述 SBS 增益介质产生 SBS,所述系统的输入信号沿着所述 SBS 增益介质传输,所述环形器的第三端口输出所述系统的输出信号。

[0009] 进一步地,所述 SBS 增益介质为光纤。

[0010] 进一步地,所述系统设置为通过反馈机制,将泵浦信号在所述 SBS 增益介质中产生的增益谱反馈至所述任意波形发生器,相应调整所述任意波形发生器,进而调整所述泵浦光,控制所述系统的增益谱的形状,实现矩形滤波器。

[0011] 进一步地,所述反馈机制离线工作,所述矩形滤波器系统在线滤波。

[0012] 进一步地,所述任意波形发生器被设置为可以产生不同频率成分的电信号,同时对各个频率成分的电信号的功率进行数字化控制。

[0013] 更进一步地,所述任意波形发生器产生的不同频率成分的输出信号频率间隔为增益光纤的 SBS 带宽。

[0014] 进一步地,所述的激光器的工作波长为 C+L 波段。

[0015] 更进一步地,所述的激光器的工作波长为 1530 ~ 1625nm。

[0016] 进一步地,所述光调制器为马赫曾德调制器。

[0017] 进一步地,所述掺铒光纤放大器为光增益模块。

[0018] 进一步地,所述环形器引导光传播方向,从所述环形器的第一端口输入的光信号从所述环形器的第二端口输出,从所述环形器的第二端口输入的光从所述环形器的第三端口输出。

[0019] 进一步地,所述光纤为单模光纤。

[0020] 进一步地,所述光纤为长度 25km 的单模光纤,光纤长度增长可以降低布里渊阈值,而超过布里渊阈值的输入光可以在反方向产生布里渊增益。

[0021] 本发明中泵浦光是通过将 AWG 输出的电信号调制到光载波上产生的。AWG 可以产生包含多个频率成分的电信号,其中每个频率成分的幅度均可数字化控制。通过对 AWG 输出信号进行控制,可以控制调制后的泵浦光谱线对应功率,进而控制对应的增益谱。在产生泵浦光之后,通过环形器将泵浦光输入一段光纤中,从而在光纤的反向产生布里渊增益。需要滤波的信号从光纤的另一段输入,处于布里渊增益区的一部分信号就得到了显著的放大,达到了滤波的效果。

[0022] 为了保证滤波器的形状,首先需要用探测光进行滤波器形状的检测。此时光纤另一端输入的是探测光,通过对探测光被放大前后进行比较,可以得到滤波器的滤波特性。利用得到增益谱信息对 AWG 信号进行反馈补偿控制,对泵浦光进行一定的调整,进而控制增益谱的形状,最终可以得到矩形滤波器。在确保了滤波器形状之后,就可以将该滤波器用于滤波应用中,对需要滤波的信号进行处理。

[0023] 本发明通过受激布里渊散射效应对光信号的频率成分进行放大来实现主动滤波,通过对布里渊泵浦进行多频强度调制来实现增益谱展宽,从而实现宽带滤波,对电信号各个频率成分进行独立控制得到矩形的布里渊增益谱,通过间隔小于等于单谱线增益谱带宽的多谱线泵浦,产生增益谱并进行叠加之后得到连续的增益谱,带宽得到拓展;引入反馈控制机制,直接对增益谱进行测量并反馈控制,并最终得到矩形增益谱,从而省去了泵浦的测量环节,一旦通过反馈控制得到了矩形增益谱,系统就不需要继续进行反馈控制,而可以直接用作矩形滤波器。

[0024] 与现有技术相比,本发明具有显著优点:

[0025] 1) 在保证滤波曲线顶部平坦的同时,下降沿陡峭,实现了矩形滤波曲线的效果。

[0026] 2) 工作波长和带宽可调谐,通过改变激光器的工作波长,可以得到不同波长处的增益谱,同时通过增加或减少泵浦谱线的数目,相应改变增益谱的带宽。

[0027] 以下将结合附图对本发明的构思、具体结构及产生的技术效果作进一步说明,以充分地了解本发明的目的、特征和效果。

附图说明

[0028] 图 1 是单谱线泵浦对应的布里渊增益谱曲线;

[0029] 图 2 是等幅多谱线泵浦的频率-功率曲线图;

[0030] 图 3 是对应图 2 的多谱线泵浦对应的布里渊增益谱曲线图;

[0031] 图 4 是对图 2 修正的泵浦的频率-功率曲线图;

[0032] 图 5 是对应图 4 的泵浦对应的布里渊增益谱曲线图;

[0033] 图 6 为本发明一个较佳实施中的基于受激布里渊散射效应的矩形滤波器系统的结构示意图;

[0034] 图 7 是本发明一个较佳实施中的基于受激布里渊散射效应的矩形滤波器系统的反馈控制机制的框图;

[0035] 图 8~图 11 为本发明一个较佳实施中的滤波器系统 1GHz 带宽下的结果曲线,

[0036] 图 8 是本发明一个较佳实施例里的输入的探测信号的光谱图;

[0037] 图 9 为对应于图 8 的部分频率成分被放大后的探测信号;

[0038] 图 10 为对应于图 8 和图 9 的放大前后的信号通过拍频检测并相减得到的增益谱结果;

[0039] 图 11 为对应于图 8 和图 9 的利用反馈机制最后得到的增益谱结果;

[0040] 图 12~图 17 为本发明的较佳实施中滤波器系统不同带宽情况下得到的增益谱结果,分别对应 40MHz、100MHz、200MHz、500MHz、1GHz 和 1.5GHz 情况下测出的增益谱曲线。

具体实施方式

[0041] 以下结合附图对本发明的较佳实施例进行说明。

[0042] 图 1 为单谱线泵浦的布里渊增益谱。受激布里渊散射效应是一个阈值效应,当输入光功率超过该段光纤所对应的布里渊阈值, SBS 将把大部分的输入功率转移到后向斯托克斯波中。这种效应也可以用来放大频率相对于泵浦频率等于布里渊频移量的信号,此时泵浦波和输入信号必须以相反方向在单模光纤中传输。

[0043] 单谱线的布里渊增益谱的带宽约为 30MHz,不用于一般的滤波器应用情景。为了拓展增益谱的带宽,需要多谱线泵浦增益谱叠加。

[0044] 图 2~图 5 为多谱线泵浦及对应的增益谱形状,泵浦之间的间隔小于 30MHz。当等幅的多谱线泵浦增益谱叠加时,可以产生顶部平坦的增益谱,如图 3 所示。但由于边缘相比于中间部分少了一半的叠加量,下降沿不够陡。如果需要下降沿很陡的增益谱,需要对泵浦进行修正,如图 4 中的泵浦以及图 5 中对应的增益谱。

[0045] 在本发明的一个较佳实施例中,基于受激布里渊散射效应的矩形滤波器系统如图 6 所示。其中,激光器 1 作为信号载波,通过调制器 2 将 AWG3 的输出电信号调制到光上,对调制后的光信号通过 EDFA4 进行放大作为泵浦光,并通过环形器 5 的 1 端口输入连接环形器 2 端口的一段光纤,从而在光纤的反向产生布里渊增益,需要滤波的信号从光纤输入至环形器的 2 端口,并从环形器的 3 端口输出(环形器的 1 端口、2 端口和 3 端口分别为环形器的第一端口、第二端口和第三端口)。在本实施例中,激光器 1 的工作波长设为 1552nm,功率约为 10dBm,光调制器 2 为马赫曾德调制器,AWG3 的不同频率成分的输出信号频率间隔设为 20MHz,EDFA4 的放大输出约为 18dBm,光纤采用的是 25km 的普通单模光纤。

[0046] 在本实施例中,为了调整系统的增益谱,采用反馈机制对系统进行离线调整,图 7 示出了本实施例中的反馈机制。即在光纤的输入端输入探测信号,将从所述光纤输入的探测信号通过滤波器系统产生的增益谱反馈至任意波形发生器,相应调整任意波形发生器,进而调整泵浦光,控制系统的增益谱的形状,最终实现矩形滤波器。在本实施例中,探测信号是非基带调制后滤出一个边带后的结果,如图 8 中所示。调制后的右边带的一部分正好处于泵浦光产生的增益谱范围内,因而会得到放大。同时,探测信号的载波保留下来,在探测信号中的边带受到布里渊放大前后,可以在输出端通过光电检测,得到与探测信号中的载波拍频的频谱。

[0047] 图 8~图 11 为滤波器带宽 1GHz 情况下的实验结果。图 10 和图 11 中左上角插图为 AWG 输出的信号。这里的 1GHz 带宽是通过将 AWG 输出谱线设为 50 根, $50 \times 20\text{MHz} = 1\text{GHz}$, 实现了 1GHz 带宽。图 8 为探测信号的光谱,图 9 为探测光的一部分得到布里渊效应的放大之后的光谱,图 10 为探测光通过光电检测之后得到的电谱结果,图 11 为被部分放大后的探测光的检测结果。从拍频之后的电谱结果可以看到,在最初使用频谱分布较平坦的 AWG 输出作为调制信号时,得到的增益谱其实是非常不平坦的,主要的原因应该是电放大器以及调制器等系统的非线性导致的。在通过几次的反馈补偿控制之后,得到图 11 中的增益谱结果,可以看到增益谱的平坦度得到了明显的改善,同时 3dB 带宽和 10dB 带宽分别为 0.994GHz 和 1.052GHz,基本上是矩形形状。图 11 中的插图是对应的 AWG 输出电谱,是一个不规则的分布形状,很难通过计算事先得出这样的输入,这也说明了反馈控制机制的重要性。

[0048] 值得注意的是,图 12~图 17 为不同带宽情况下测出的增益谱曲线。实验中实现了从 40MHz (2 根谱线泵浦) 一直到 1.5GHz (75 根谱线泵浦) 带宽下的矩形增益谱。即该滤

波器的带宽可调,并且带宽控制的精度可以达到 20MHz。

[0049] 以上详细描述了本发明的较佳具体实施例。应当理解,本领域的普通技术无需创造性劳动就可以根据本发明的构思作出诸多修改和变化。因此,凡本技术领域中技术人员依本发明的构思在现有技术的基础上通过逻辑分析、推理或者有限的实验可以得到的技术方案,皆应在由权利要求书所确定的保护范围内。

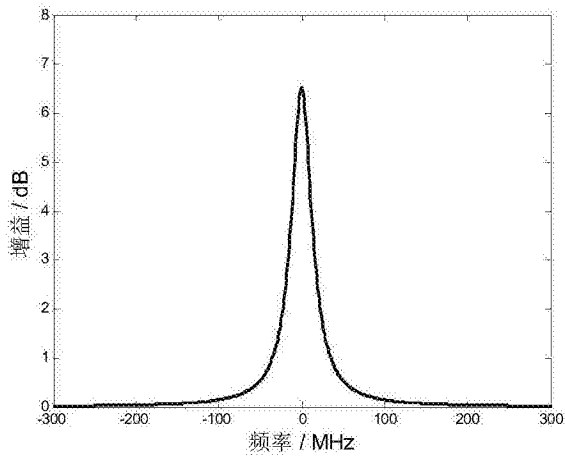


图 1

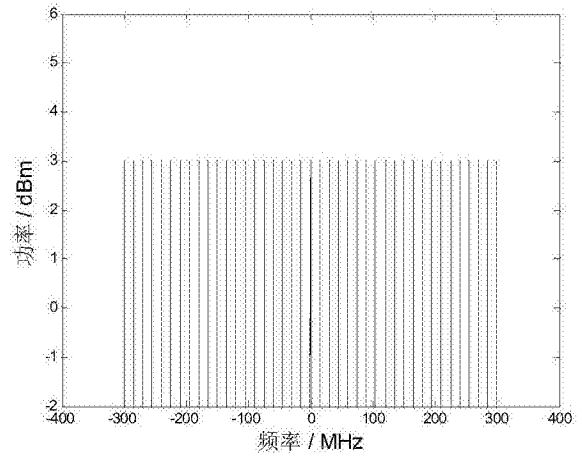


图 2

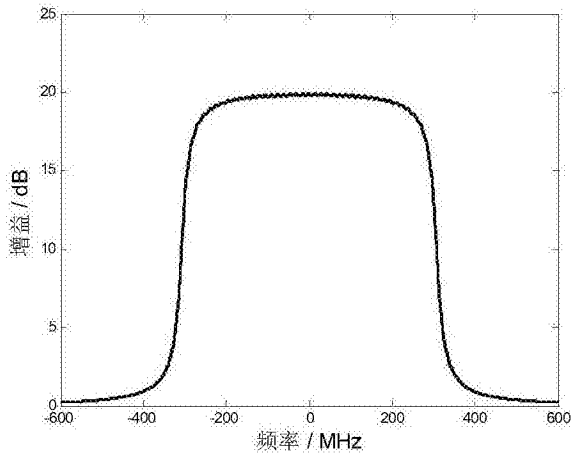


图 3

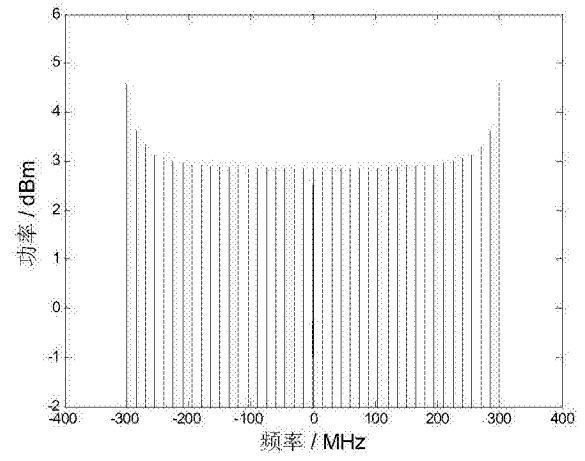


图 4

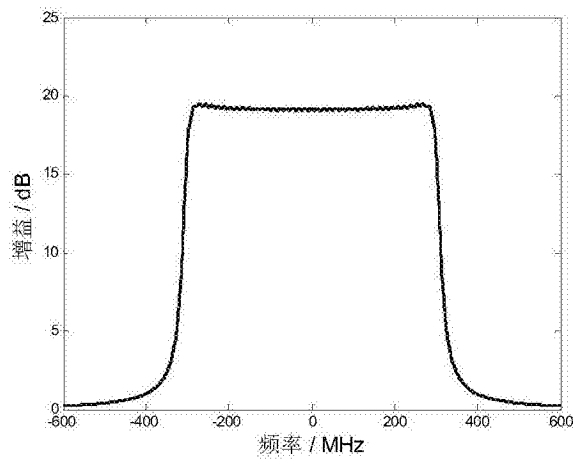


图 5

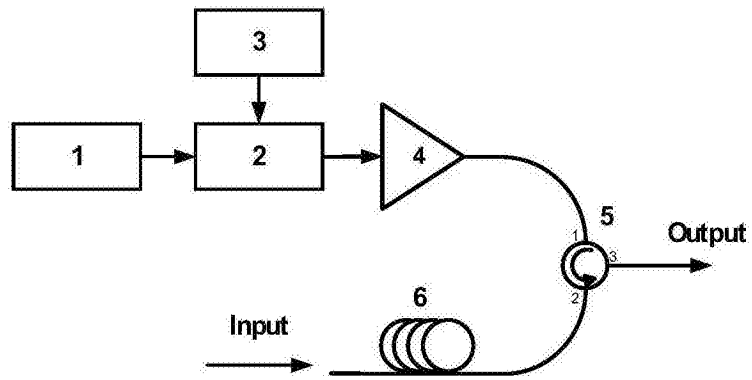


图 6



图 7

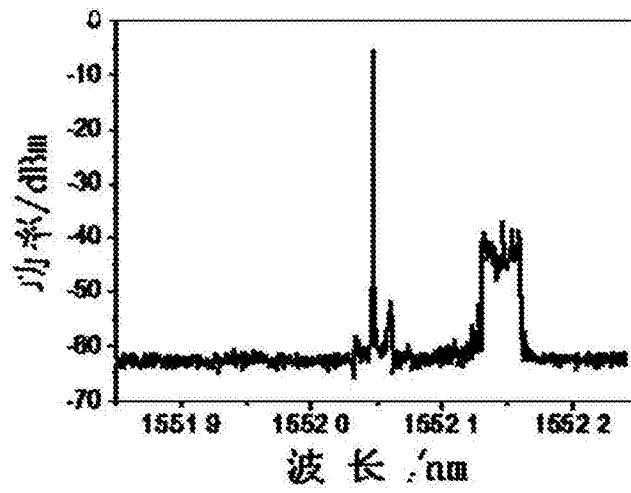


图 8

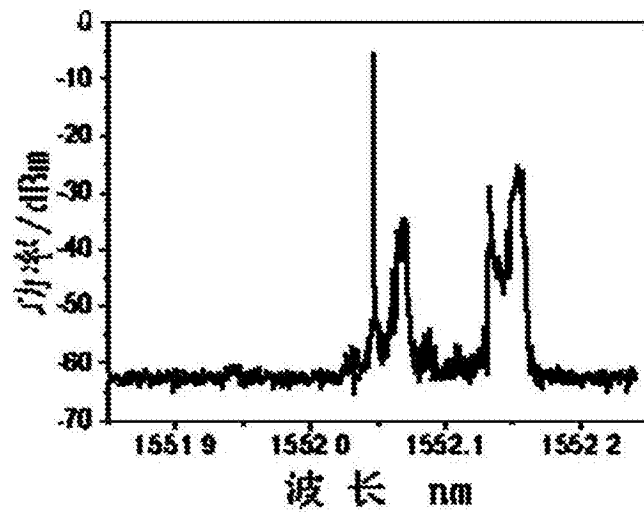


图 9

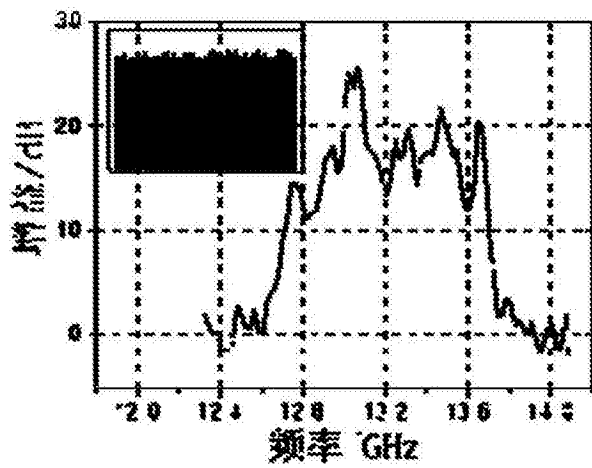


图 10

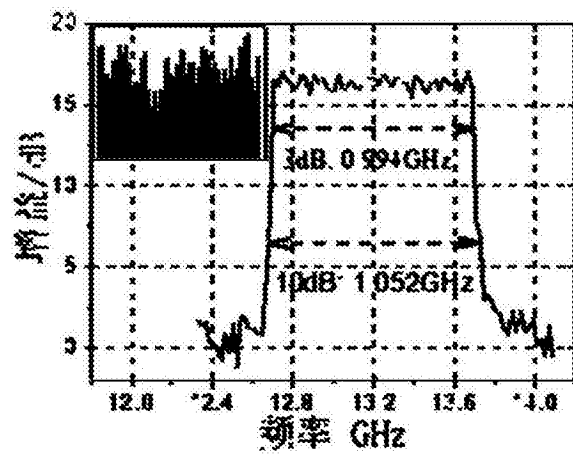


图 11

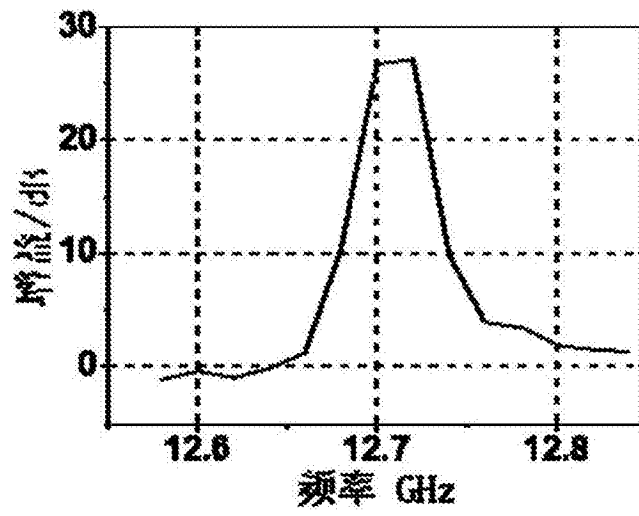


图 12

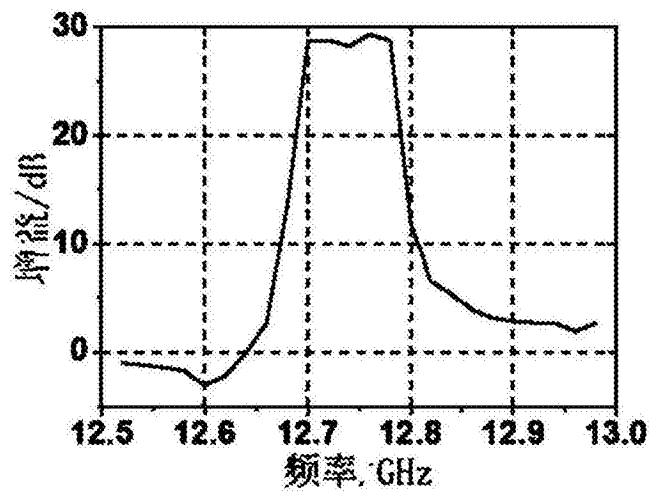


图 13

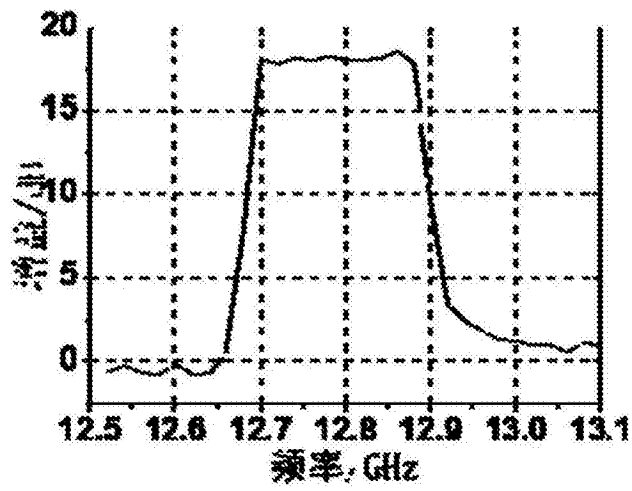


图 14

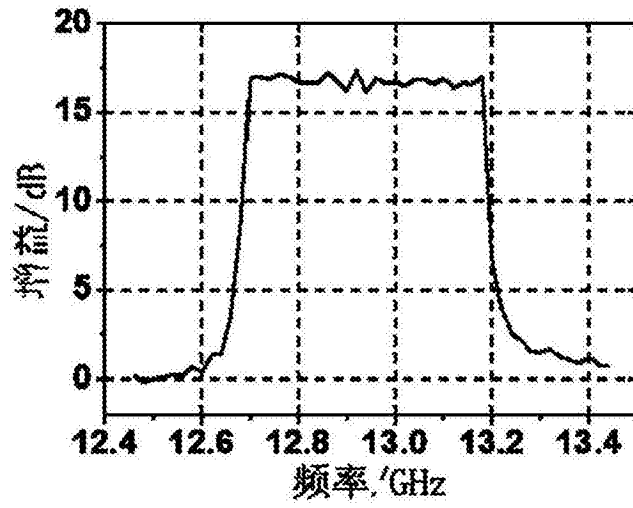


图 15

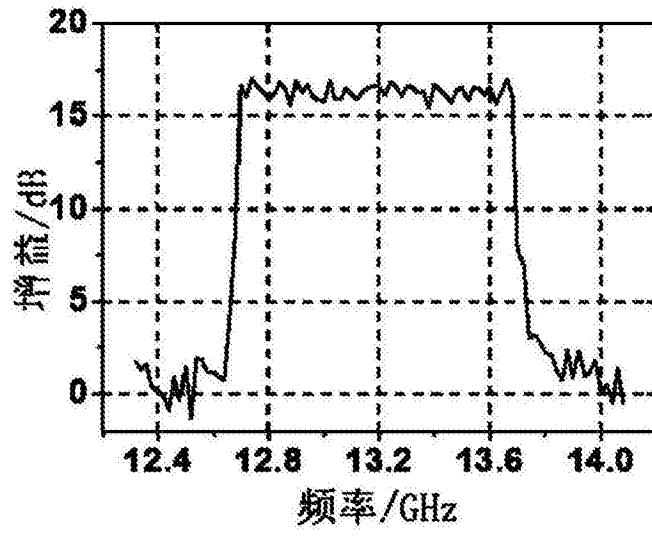


图 16

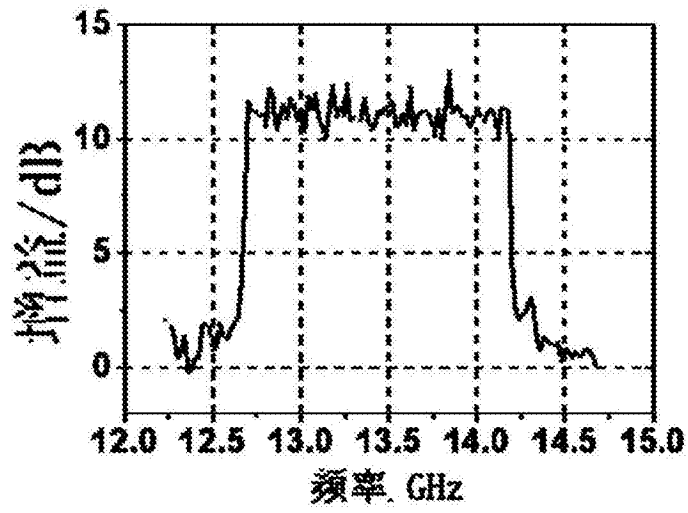


图 17