

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

H03C 1/60

H04B 10/12

[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 96195370.5

[45] 授权公告日 2002 年 1 月 23 日

[11] 授权公告号 CN 1078403C

[22] 申请日 1996.5.14 [24] 颁证日 2002.1.23

[21] 申请号 96195370.5

[30] 优先权

[32] 1995.5.19 [33] SE [31] 9501887-5

[86] 国际申请 PCT/SE96/00626 1996.5.14

[87] 国际公布 WO96/37042 英 1996.11.21

[85] 进入国家阶段日期 1998.1.8

[73] 专利权人 艾利森电话股份有限公司

地址 瑞典斯德哥尔摩

[72] 发明人 J. - P. 维贝尔

[56] 参考文献

EP 0288035 1988.10.26 H03C1/60

US 5131244 1992.6.9 H04B10/12

审查员 段成云

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

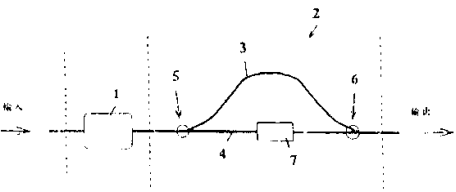
代理人 王 勇 王 岳

权利要求书 1 页 说明书 12 页 附图页数 6 页

[54] 发明名称 在光纤中传送信号的方法和设备

[57] 摘要

在光纤中传送信号的方法和设备中,提供一个幅度调制器(1),用于以被传送信号幅度调制高频光载波。还提供一个抑制装置(2),用于至少抑制被调制光载波的一个边带的一部分,以减小在光纤中群速色散的影响。



ISSN 1008-4274



权 利 要 求 书

1. 在光纤中传送信号的方法，包括用被传送信号幅度调制高频光载波，并在该光纤中传送这样调制的光载波，其特征在于至少抑制被调制光载波的一个边带的一部分以减小在光纤中群速色散的影响。

5 2. 按照权利要求 1 的方法，其特征在于抑制发生在光纤的接收端。

3. 按照权利要求 1 的方法，其特征在于抑制借助于残留边带调制来实现。

10 4. 按照权利要求 1 的方法，其特征在于抑制借助于单边带调制来实现。

5. 在光纤中传送信号的设备，包括用被传送信号幅度调制高频光载波的幅度调制器 1，其特征在于用于至少抑制被调制光载波的一个边带的一部分的抑制装置（2，8，9），以减小在光纤中群速色散的影响。

15 6. 按照权利要求 5 的设备，其特征在于所说的抑制装置（2，8，9）位于光纤的接收端。

7. 按照权利要求 5 的设备，其特征在于所说的抑制装置（2，8，9）包括一个残留边带调制器。

20 8. 按照权利要求 6 或 7 的设备，其特征在于所说的抑制装置包括一个光学滤光器。

9. 按照权利要求 8 的设备，其特征在于所说的光学滤波器包括一个不对称马赫-泽德干涉光学滤光器（2）。

10. 按照权利要求 8 的设备，其特征在于所说的光学滤波器包括一个布喇格光栅光学滤光器（8）。

25 11. 按照权利要求 8 的设备，其特征在于所说的光学滤波器包括一个法布里-珀罗光学滤光器（9）。

12. 按照权利要求 5 的设备，其特征在于所说的抑制装置包括一个单边带调制器。



说明书

在光纤中传送信号的方法和设备

技术领域

- 5 本发明一方面涉及在光纤中传送信号的方法，包括用被传送信号幅度调制高频光载波，并在该光纤中传送这样调制的光载波，另一方面还涉及在光纤中用于传送信号的设备，包括用被传送信号幅度调制高频光载波的幅度调制器。

发明背景

- 10 在现今的研制中，高频或高速光纤传输系统，10Gbit/s 或更高的主要问题之一是在光纤中引起所传送信号畸变的群速色散。大多数已安装光纤在 $1.3\mu\text{m}$ 有零色散，但在 $1.55\mu\text{m}$ 损耗最小，而群速色散约为 $-17\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$ 。这个畸变对以 2.5Gbit/s 的远距离传输 100km 以上已经是一个问题，为此必须使用外部调制器替代直接调制半导体激光器。在 10Gbit/s，色散是传输距离的主要限制因素，比特率越高，限制就越厉害，因为信号的频谱展宽与比特率成正比。

色散为何引起信号畸变，其原因在于它使得相位随调制频率的平方而变化。两个边带获得具有相同符号的这一相位。在用平方律探测器如光电二极管探测以后，这导致如下形式的小信号响应：

20

$$H(\nu) = \cos(F L \nu^2) \quad (1)$$

式中 ν 是调制频率， L 是传输距离，如果 L 变得足够大，该响应在所需频段中使得传输为零。这些零是造成信号畸变的原因。

- 25 由于该问题随被传送信号的频谱宽度而增加，所以改善这种状况的一种方法是限制这个频谱宽度。在无线电和电视领域，频谱减少被用来在可利用频段中堵塞更多的频道，并常用抑制或不抑制载波的单边带 (SSB) 调制或残留边带 (VSB) 调制来实现。抑制载波的问题是，为复原该信号需要一个非常稳定的窄带本振。这使得它类似于相干调制系统 (FM、PM)，但现今的商品光学传输系统仅使用幅度调制 (AM)，
30 因为简单的平方律探测器如光电二极管则可以被用在接收机中。

以前已提出过其它方法来克服在光纤中由色散引起的问题。两个最有希望的方法看来是用四波混频的频谱反相和采用具有相反符号的色散的一段光纤。频谱反相的问题是它十分复杂，具有低的效率，必须在光纤链路的中间来实现并且在波长复用系统中难以使用。具有补偿光纤的主要问题是附加损耗，其必须用一个光放大器来补偿，这样引起信噪比的降低。

发明简介

本发明的目的是在光学领域以简单的方式并以低成本来克服由于在光纤中的群速色散引起的对传输距离的限制。

10 这采用按照本发明的方法，通过至少抑制被调制光载波的一个边带的一部分以减小在光纤中群速色散的影响来实现。

这个目的也采用按照本发明的设备来实现，在该设备中它包括一个抑制装置，用于至少抑制被调制光载波的一个边带的一部分以减小在光纤中群速色散的影响。

15 这个边带抑制可以在光纤中传输之前或反之在光纤中传输之后但在光信号探测之前实现。

一个相位校正（以及最终均衡）用的电子电路也可以被添加到接收机中。

20 按照本发明的方法和设备是简单的并且可以低成本实现，从而使它们可以与至今已提出的方法和设备一决高低。

附图简要说明

下面将参照附图对本发明作进一步的详述。这些附图是

图 1 示出按照本发明的设备的第一个实施例，

图 2a 和 2b 示出阐述按照图 1 的实施例的功能的图形，

25 图 3 示出按照本发明的设备的第二个实施例，

图 4a、4b 和 4c 示出阐述按照图 3 的实施例的功能的图形，

图 5 示出按照本发明的设备的第三个实施例，

图 6a、6b 和 6c 示出阐述按照图 5 的实施例的功能的图形。

本发明的详细说明

30 为了实现本发明的目标，即保留简单接收机的低成本和高可靠性优点，按照本发明采用简单 SSB 或 VSB。

SSB 和 VSB 调制方案的进一步分析表明，它们的好处还不只是减

小信号的频谱延伸。

然而，在纯 SSB 系统中，只有一个边带，因而响应变成：

$$H_{SSB}(\nu) = (1/2) \exp(j F L \nu^2) \quad (2)$$

- 5 式中 j 为 -1 的平方根，它是一个纯频率相关相位。这可以用一个执行相位校正的电子电路来补偿。

真正的 SSB 在光学领域中是难以实现的。此外，作为在光学系统中通常实现 AM 调制的方式，即对于该调制具有大的消光比的伪随机比特图案的传输的模拟，表明纯 SSB 调制可能不是最好的解决方案。

- 10 然而，下面所述的按照本发明的设备的三个 VSB 调制的实施例给出可达到的传输距离的一个重大改进。

- 所描述的 VSB 光调制器的三个实施例是分别建立在使用不对称马赫-泽德 (Mach-Zehnder) 干涉滤光器 (图 1)、布喇格 (Bragg) 光栅滤光器 (图 3) 和法布里-珀罗 (Fabry-Perot) 滤光器 (图 5) 的基础上的。

VSB 调制器的其它实施例可以通过使用不同类型的光学滤波器替代上面列举的三个滤光器之一来轻易地实现。其例子包括多层介质滤光器、干涉滤光器、双法布里-珀罗滤光器等。唯一的要求是该滤光器抑制一个边带的大部分当传送载波和另一个边带的大部分时。

- 20 作为 VSB 调制器的替代物，也可以代之以使用下面所述类型之一的普通幅度调制器并在光纤中传输之后在接收机中执行光信号的滤波。这个解决方案的问题和优点如下所述。

- 在所有例子中，可能都要求一个被接收信号的相位校正用的电子电路，如式 (2) 所示。然而，有些光学滤波器如法布里-珀罗滤光器也附加一个相位到光信号上，这可能使得电子相位校正没有必要。此外，电子信号的均衡在有些例子中可能是优点。这是因为大多数滤波器不仅如式 (2) 所述的 SSB 例子中那样附加一个相位，而且也改变幅度 (例如见下面用于不对称马赫-泽德滤光器的式 (8))。

VSB 调制器

- 30 这里所述的 VSB 调制器的三个实施例全都建立在使用幅度调制器和光学滤波器的基础上的。实现 VSB (或 SSB) 调制器的其它方法是众所周知的，但在很高比特率下实现是相当困难甚至是不可能的，或者

是相当复杂和昂贵的。

下面假设调制器本身是一个纯 AM 调制（无啁啾声）。这在半导体电吸收调制器情况下或在对称马赫-泽德调制器（在 LiNbO_3 或半导体中实现）情况下是可能的。

5 图 1 所示设备包括幅度调制器 1，用于以高速用传向接收端的信号幅度调制光载波 I_N 。根据按照本发明的设备的第一个实施例，调制器 1 后面接不对称马赫-泽德干涉仪常标记为 2，在分离器 5 和组合器 6 之间有两个臂，一个较长的臂 3 和一个较短的臂 4。

下面描述的三个参数对这个装置的正确工作是重要的：

10 1.干涉仪 2 的两个臂 3 和 4 必须有几乎相等的损耗，因此在组合器 6 上不同相的重新组合将导致一个大的消光比。由于吸收和散射，较长的臂 3 将通常具有较高的损耗。几种补偿方法是可能的，取决于制造该装置所使用的材料和制作方法。通常应用的一个方法是在干涉仪 2 中分离器 5 上使用不对称的分离比，因而在组合器 6 上功率是相等的。另一个方法是在臂 3 和 4 中一个臂上有附加的损耗或增益以平衡总的损耗。

15 2.两个臂 3 和 4 之间的光程差将决定滤光器的特性，因为它的传递函数可以写作：

$$T_{MZ}(\omega) = \frac{1}{2} \left| 1 + \exp(j \frac{P_1 - P_2}{c} \omega) \right| \quad (3)$$

20 式中忽略损耗， ω 是光的角频率， c 是光速， P_i 是干涉仪 2 的一个臂的光程长度，定义为：

$$P_i = \int_{\text{Arm } i} n_{\text{eff}}(s) ds \quad (4)$$

25 式中 s 是沿臂的距离， n_{eff} 是在那个臂中光的有效传播折射率。如果 n_{eff} 处处相同并为常数，则式 (3) 简化为：

$$T_{MZ}(\omega) = \frac{1}{2} \left| 1 + e^{j\phi} \exp \left(j \left| \frac{n_{\text{eff}} \Delta d}{c} \right| \omega \right) \right| \quad (5)$$

30 式中 Δd 是臂之间的长度差， ϕ 被考虑为任何附加相位差，例如由于在一个臂中的相位控制装置 7 引起的相位差。

由式 (3) 或 (5) 我们可知，该滤光器的传递函数是 ω 的周期函

数, 其周期了决于光程差 (或 Δd) .

3. 载频 ω_0 和式 (3) 的最大与最小传输的相对位置对该装置的良好工作是十分重要的。例如, 如果 ω_0 与最小值相重合, 则没有信号被传送, 如果 ω_0 与最大值相重合, 则边带是对称的, 且与未滤波情况相比没有改进。最好位置是当:

$$\left| \frac{n_{eff}}{c} \Delta d \right| \omega + \phi = (m + \frac{1}{2}) \pi \quad (6)$$

10 式中 m 是一个整数。这相当图 2a 中传输频谱中由虚线表示的位置。有两种方法来调整这个相对位置, 即调谐载波频率 ω_0 或通过调节如图 1 假设的一个臂中的相位改变 ϕ 来调谐该滤光器。哪一种解决办法最好取决于制造滤光器所采用的技术和系统要求。

如果定义时间延迟 τ 为:

$$\tau = \frac{n_{eff} \Delta d}{c} \quad (7)$$

15 以及如果调制信号的比特率是 B , 那么我们从图 2b 和式 (5) 可见 τ 的选择如何影响信号被滤波的方式。在图 2b 中, 点线表示典型的被调制的光谱和它相对于滤光器透射频谱的位置。可以指出, 如由式 (6) 所给出的并如图 2a 所示的那样调谐的不对称马赫-泽德滤光器中, 用平方律探测器探测以后的小信号调制响应函数变为:

$$H_{MZ}(\nu) = \frac{1}{2} \left| \cos(\frac{\tau}{2}\nu) \cos(FL\nu^2) \pm j \sin(\frac{\tau}{2}\nu) \sin(FL\nu^2) \right| \quad (8)$$

25 而不是式 (1) 了。从式 (8) 我们可见, 在式 (1) 中出现零点的问题可以通过正确选取 τ 来避免, 而且通过电信号的适当滤波 (如在由式 (2) 给出的纯 SSB 情况中) 可以校正相位畸变。此外, 也可能实现幅度均衡, 因为现在没有零点。

30 图 3 所示的按照本发明的设备的实施例包括一个幅度调制器, 其被标记为 1, 因为它与图 1 所示的调制器 1 可能是相同的。按照每个实施例, 调制器 1 后面接一个布喇格光栅滤光器 8。

图 4 所示的图形说明图 3 所示实施例的工作原理。图 4a 示出光学传递函数, 即典型的布喇格光栅滤光器的透射频谱, 其中 ω_c 是滤光器中

心频率。图 4b 示出典型的被调制的光谱，其中 B 是比特率， ω_0 是光载波频率。图 4c 示出滤波以后信号的光谱。布喇格光栅滤光器 8 将反射某一段频带并透射其余频率，允许抑制一个边带的大部分以获得 VSB 光信号。

5 三个参数对这个装置的正确工作也是重要的，即：

1. 布喇格光栅反射频带的谱宽，其主要取决于光栅耦合系数 k 。作为一阶近似，反射频带的半最大值 (FWHM) 由下式给出 (以波长为单位)：

$$10 \quad \text{FWHM} = \frac{\lambda_c^2 \kappa}{\pi n_{\text{eff}}} \left(1 + \frac{1}{\kappa L_g} \right) \quad (9)$$

式中 λ_c 是光栅中心波长， L_g 是光栅的长度， n_{eff} 是光的有效传播折射率 (index)。

15 2. 在反射频带中通过光栅的透射，其取决于乘积 κL_g 。在一阶近似中，在中心波长通过光栅 (忽略损耗) 所透射功率的百分数由下式给出：

$$P_T = 1 - \tanh^2(\kappa L_g) \quad (10)$$

20 3. 布喇格光栅的中心频率 ω_c (相应于 λ_c) 相对于中心信号频率 ω_0 的位置，此处

$$\omega_c = 2\pi \frac{c}{\lambda_c} \quad (11)$$

$$\lambda_c = 2n_{\text{eff}} \Lambda \quad (12)$$

25

式中 Λ 是布喇格光栅的物理周期。这样一个配置的一个例子以及它对所透射频谱的影响示于图 4。那么由式 (12) 可以看出，如果 n_{eff} 可以控制的话，中心波长则可以调整。下面将会看到，有好几种实现这一点的方法 (取决于所用的材料)。另一方面，载波频率可以被调整。此外，
30 哪一种解决办法最好取决于所采用的特定技术和系统要求。

布喇格光栅特性的更精确计算可使用 J. -P. Weber 和 S. Wang 在 IEEE J. Quantum Electronics , 27 (10) , October.1991 ,

88. 2256-2266 上发表的文章“计算 DFB 和 DBR 激光器发射频谱的新方法”或在 A. Yariv 和 P. Yeh“晶体中的光波”一书 Wiley, New York, 1984 中描述方法进行。

按照图 5 实施例的基本结构类似于前两个实施例，包括一个幅度调制器 1，其可能与图 1 和 3 中所示的调制器 1 相同。根据按照本发
5 明的设备的这个实施例，调制器 1 后面接一个滤光器，一般标记为 9，在这个例子中滤光器 9 是具有两个反射元件或镜子 10 和 11 的法布里-珀罗滤光器。图 5 所示实施例的工作原理由图 6 所示的图形说明。图 6a 示出典型的法布里-珀罗滤光器的光功率传递函数，即透射频谱，其中 ω_c 是滤光器中心频率。图 6b 示出典型的被调制的光谱，其中 B 是比特率， ω_c 是光载波频率。图 6c 示出滤波以后的信号光谱。法布里-珀罗滤光器 9 被设计和配置得只透射一个边带和大约一半载波功率。

这个装置正确工作的三个重要参数为:

1. 透射频带的全宽半最大值 (FWHM)。它典型地应为比特率量级。
2. 自由谱区, 它应至少为比特率的几倍。

所有这些参数可以根据熟知的法布里-珀罗滤光器的传输公式
20 (例如见 M. Born 和 E. Wolf 的“光学原理”, 第六版, Pergamon Press, Oxford, 1986) 确定:

$$T_{FP}(\omega) = \frac{1-R}{1 - \text{Re} \exp(-j2\frac{n}{c}d\omega)} \quad (13)$$

25 式中 R 是 FP 滤光器片的强度反射系数, d 是两个片之间的距离, n 是片之间的折射率, c 是真空中光速。强度透射则为:

$$T_{FPpower}(\omega) = \frac{1}{1 + F \sin^2\left(\frac{n}{c}d\omega\right)} \quad (14)$$

式中 F 由下式给出为:

$$F = \frac{4R}{(1 - R)^2} \quad (15)$$

5 显然, FWHM 由下式给出 (以频率为单位) 为:

$$\text{FWHM} = \frac{2c}{nd} \arcsin\left(\frac{1}{\sqrt{F}}\right) \quad (16)$$

10 以及自由谱区 $\Delta\omega$ 为:

$$\Delta\omega = \frac{\pi c}{nd} \quad (17)$$

实现上, 滤光器的相对位置和载波频率可以通过细调距离 d 来调整。

15 可以使用几种不同的技术以不同的集成水平来实现这些 VSB 调制器。对于每个装置将给出一些可能实现方案的简短摘要。应当指出, 当该装置被集成时, 只有在采用单模波长下它们才正确地工作。

基于马赫-译德的调制器

20 首先考虑制作发送器的三个基本部件, 即激光器、调制器和不对称马赫-译德干涉仪 (下面用 MZI 表示之) 可获得的不同技术。

激光器: 典型采用半导体激光器 (通常基于 AlGaAs/GaAs 或 InGaAsP/InP), 但也可采用其它激光器, 如二极管泵浦 YAG 激光器。它需要在一个恒定输出功率、稳定频率和窄的线宽下工作。

25 调制器: 现今通常使用的仅两种类型的调制器具有高速传输系统所要求的带宽。第一种类型是对称马赫-译德调制器, 它采用电光效应 (在晶体如 LiNbO_3 中) 或量子约束斯塔克谱线磁裂效应 (在半导体中) 以便通过改变折射率来改变干涉仪一个臂 (或两个臂) 中的相位。第二种类型是在半导体材料中的电吸收调制器, 该材料在吸收层具有松散材料或量子阱。两种类型可以制作得没有啁啾声或啁啾声很小。

30 不对称 MZI: 这是有最大可能性数目的部件: 自由空间 (采用镜子和分束器), 光纤 (采用光纤分裂器), 用硅上的 SiO_2 、用 LiNbO_3 中的漫散波导或用晶格配对半导体如 AlGaAs/GaAs 或 InGaAsP/InP 实

现的集成光学介质波导。

对于相位控制的实现，不同的解决方案是可能的。下面提到的是其中的一些解决方案：

—可以采用压电元件通过对自由空间和光纤情况所要求的总量来改变臂的长度差

—使用热光效应通过改变 MZI 的一个臂的温度（例如用电阻加热器或热电致冷器）来改变 MZI 的一个臂的折射率。这可以被用于光纤和所有集成光学波导。

—对晶格配对半导体，我们也可以使用载波注入或取消、BRAQWETS 或量子约束斯塔克谱线磁裂效应来改变折射率。

对于集成光学波导，分离器 5 和组合器 6 可以用几种不同的方式制作。在这些方式之中，我们有 Y 型接头、耦合波导和多模干涉分离器，它们均能给出任何所希望的分配比。

现在，各种不同的集成能力可列举如下：

1. 不集成或混合集成：每个部件可以用不同工艺实现，并与光纤或自由空间或最终在载波基片上实现的波导连接在一起。

2. 完全集成：激光器、调制器和 MZI 全部整体制造在同一芯片上。这用半导体如 AlGaAs/GaAs 或 InGaAsP/InP 是可能的，用 LiNbO₃ 也是可能的（采用铈掺杂激光器）。

3. 部分集成：这里有两个可能：

· 激光器和调制器集成：用半导体和 LiNbO₃ 是可能的（如完全集成的情况那样）

· 调制器和 MZI 集成：也是用半导体和 LiNbO₃ 是可能的。

在某些情况下，可能必须在某个位置上插入一个光隔离器以避免光反射回到激光器，从而扰乱激光器的稳定性。

基于喇格光栅的调制器

对于激光器和调制器，其可能性与上面 MZI 的情况相同。布喇格光栅滤光器 8 可以用几种方式实现，包括：

· 在光纤中 UV 写入：UV 干涉图形可以被用来在光纤中形成一个周期性折射率变化，因而得到一个布喇格光栅。

· 介质波导的几何形状或成分的周期性波动，其可以用半导体材料或 SiO₂/Si 制成，但也可以用聚合物制成。

由于布喇格光栅的中心波长由式 (12) 给出, 所以它可以通过改变波导中的折射率来改变. 可以采用如上面 MZI 情况中那样的同样方法, 其届时干涉仪的一个臂中的折射率被改变.

如果单一布喇格光栅不能复盖所要求的谱区, 则可以采用稍微偏移中心波长的几个布喇格光栅串接或者采用一个线性调频的 (chirped) 布喇格光栅, 即具有一个变化的周期的布喇格光栅. 它也可能有希望减小布喇格光栅反射频带的旁瓣. 这可以通过线性调频 (chirping) 光栅或通过改变沿光栅的耦合系数 k 来实现 (参看 J. P. Weber, M. Olofsson, B. Stoltz 的“滤光器最佳化的报告”, report (deliverable CT3/D4), RACE 2028 MWTN (Multi-Wavelength Transport Network) project of the European Commission, 5, Dec.1994).

基于布喇格光栅的调制器的集成可能性除了必须在光栅和激光器之间插入一个隔离器以避免在存在来自光栅的反射情况下扰动激光器的稳定性外, 与 MZI 的情况类似. 由于光隔离器不能被集成 (至少在目前可获得的工艺下不可能集成), 这使得无法完全集成, 但可采用别的变通办法, 因为隔离器可以加在调制器之前或之后.

基于法布里 - 珀罗的调制器

对激光器和调制器可得到与上面相同的可能性. 法布里 - 珀罗滤光器 9 可以用几种方式 (有些是市场上可购得的) 实现, 包括:

· 体(bulk)光学, 采用平行片镜子. 这个装置可以机械调谐, 例如用压电致动器.

· 光纤法布里 - 珀罗: 代替自由空间, 光在一根每端有高反射的光纤中传播. 它也可以用压电元件调谐.

· 集成波导: 一段在每端有大反射的 (单模) 波导. 例如反射可由布喇格光栅或劈开的或蚀刻的网格提供. 如在上面 MZI 的情况一样, 调谐可以通过在波导中放置一个相位控制部分 (未画出) 来实现.

松散光学装置或光纤法布里 - 珀罗不能被集成, 但波导装置可以与调制器集成在一起 (如在布喇格光栅的情况中一样). 应当注意, 这里存在如在布喇格光栅的情况中那样的同样问题: 在激光器和滤光器之间要求一个隔离器以避免由反射引起的扰动. 因此, 如在布喇格光栅的情况中那样的同样限制适用于此处.

实施例

下面将概述实现每种类型的装置的一个例子。头两个例子将是用在 InGaAsP/InP 中将调制器和滤光器集成在同一块芯片上的设备。对于法布里-珀罗, 假设一个被集成的激光器/电吸收调制器和一个光纤法布里-珀罗滤光器。在所有例子中, 光滤长假定为在 $1.55\mu\text{m}$ 附近。这些设备不要求任何新的加工工艺或制造技术, 可用现有的工艺实现。

集成调制器—MZI

在这个例子中, 图 1 的结构可以用称为电吸收调制器的调制器 1 实现, 其采用 Y 接头作为分离器 5 和组合器 6, 采用正向偏置的 p-i-n 杂质结构以注入载流子并控制相位控制部分 7 中的折射率。假设波导有一个 InGaAsP 芯子 (带隙波长 $1.38\mu\text{m}$), 它是 $0.2\mu\text{m}$ 厚, $1.3\mu\text{m}$ 宽, 涂层是 InP, 有效的传播折射率在 $1.55\mu\text{m}$ 波长上是 3.22。载流子注入可以将有效折射率减小一个约 0.014 的最大值 (参见 J. -P. Weber, B. Stoltz, M. Dasler 和 B. Koek 的“采用 InGaAsP/InP 反射光栅的四通道可调谐光学陷波滤波器”, IEEE Photon. Techn. Lett., Vol. 6(1), Jan. 1994, pp77-79), 这意味着相位控制部分必须大于约 $111\mu\text{m}$ 长才能得到 2π 变化。电吸收调制器使用具有 $1.48\mu\text{m}$ 带隙的 InGaSaP 芯子和反向偏置 p-i-n 结构。长度在 100 和 $200\mu\text{m}$ 之间足以获得良好的消光比。某些例子的计算表明, τ 的良好选择是使 $(\omega_0 \pm \pi B)$ 相应于滤光器函数 (式 5) 的最小值 (最大值)。选择 $B = 10\text{Gbit/s}$, 这给出 $\tau = 1/2B = 50\text{ps}$, 或者通过使用式 (7), 臂长度差 $\Delta d = 4.66\text{mm}$ 。(应当指出, 比特率越高, 这个越小。)分离器 5 可以用 $100\mu\text{m}$ 或更小量级的长度来实现。因此, 整个装置可以不难在尺寸小于 4mm 长乘 3mm 宽的一块芯片上制作出来。

集成调制器 - 布喇格光栅

这个例子使用图 3 的结构以及与前一个例子相同的 InGaSaP/InP 波导。唯一的不同是在一段滤导上加了一个光栅, 该段波导处也可以用 p-i-n 结构注入载流子以改变中心波长。假设希望 FWHM 为 2nm , 中心波长透射是 -10dB 。采用式 (9) 和 (10), 可以求得必须有 $k = 54.3\text{cm}^{-1}$ 和 $L_g = 335\mu\text{m}$ 。因此, 这个装置应当在小于 $600\mu\text{m}$ 长和小于 $100\mu\text{m}$ 宽的一块芯片上实现。对于越窄的止带, 光纤光栅可能越好。但是如上所述, 必须在激光器和这个装置之间有一个光隔离器。

法布里-珀罗和集成激光器/调制器

集成激光器和电吸收调制器将很快会在市场上可以购到。对一个 10Gbit/s 系统，希望有一个 FWHM 为 10GHz 的法布里-珀罗。假设 $R = 0.9$ （这很容易做到），则可得到折射率为 1.5，光纤长度（镜子 10 和 11 之间）约为 2.11mm，自由谱区为 298GHz，其是足够大了。也可以使用 SiO_2/Si 波导（具有温度调整）替代光纤。如在布喇格光栅的情况中那样，必须在激光器和滤光器之间放置一个隔离器。

在接收机上滤波

如上所述，一个 VSB（或 SSB）调制器的变通方案是使用一个常规的幅度调制器并在光纤中透射之后通过光学滤波实现边带抑制。在图 1、3 和 5 中，这相当于分别在调制器 1 和滤光器 2、8 和 9 之间插入光纤。在这种情况下可以使用与上述那些同样的装置。

如果我们有一个在光纤中光功率足够低（以及距离足够短）的单通道系统以忽略非线性，那么这等效于以前的解决办法。

现在，优点是来自滤光器返回到激光器的反射将不会成为什么问题，因为通常在发送器和光纤之间已经有一个光隔离器，以避免来自接头和绞接处的反射引起的问题。

然而，这个解决方案也有几个问题。在探测情况下，对于相同的功率，光纤中载运的总光功率比具有 VSB 调制器的情况要高。这可能是一个问题，因为非线性影响随光功率的平方成正比增加。另外，在光纤中光信号的谱宽将变大，这意味着在波长复用（WDM）系统中通道间隔必须加大。

因为这些问题，一般使用 VSB（或 SSB）调制器较好一些。

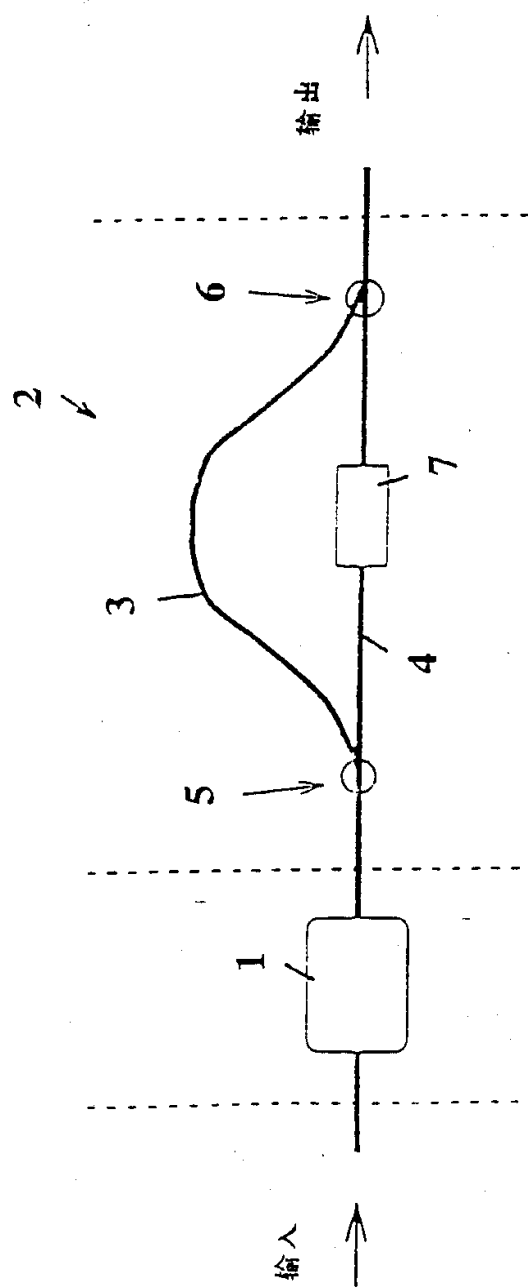
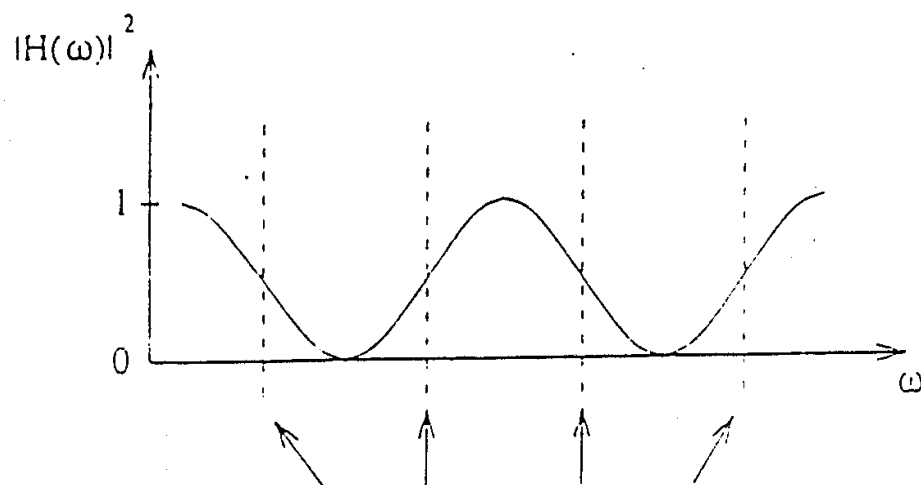


图1

(a)



ω_0 可能的位置

(b)

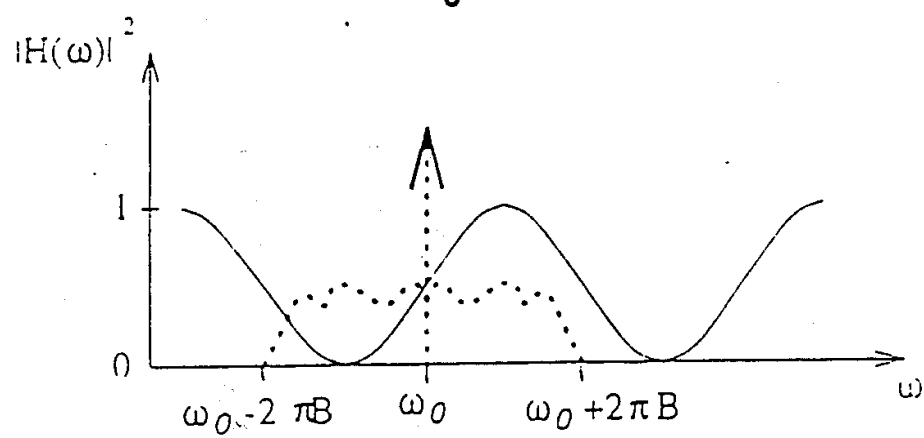


图 2

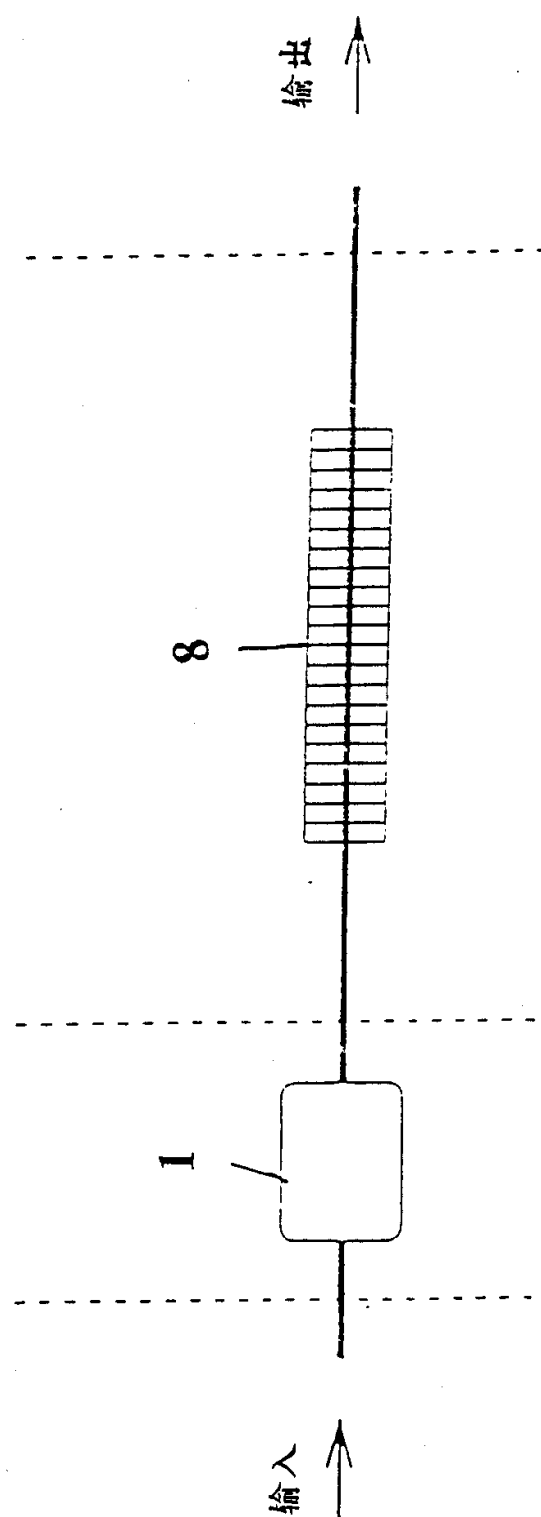


图 3

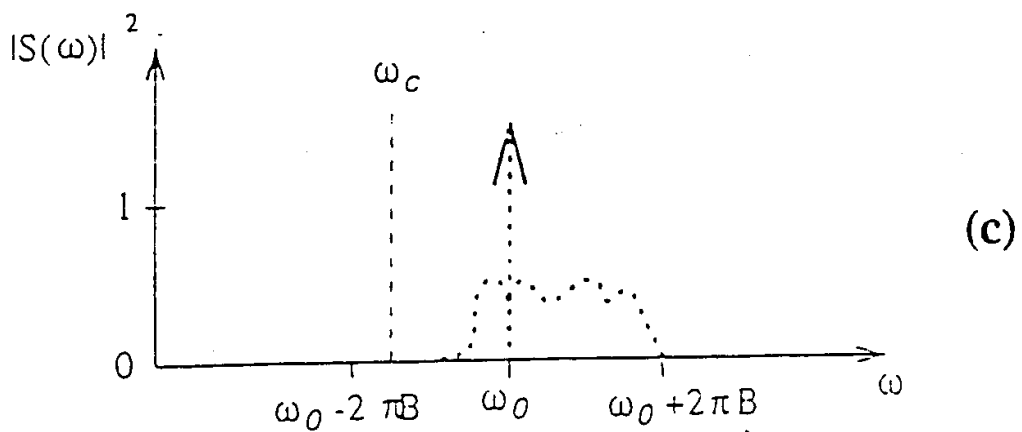
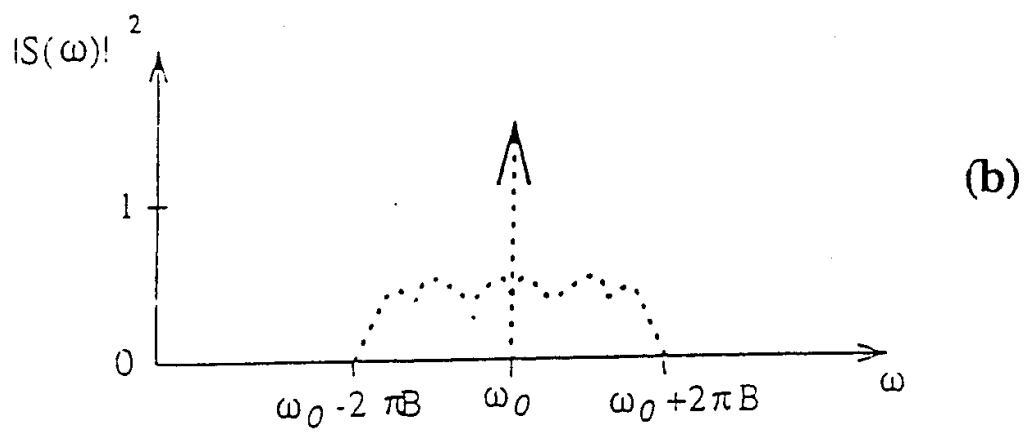
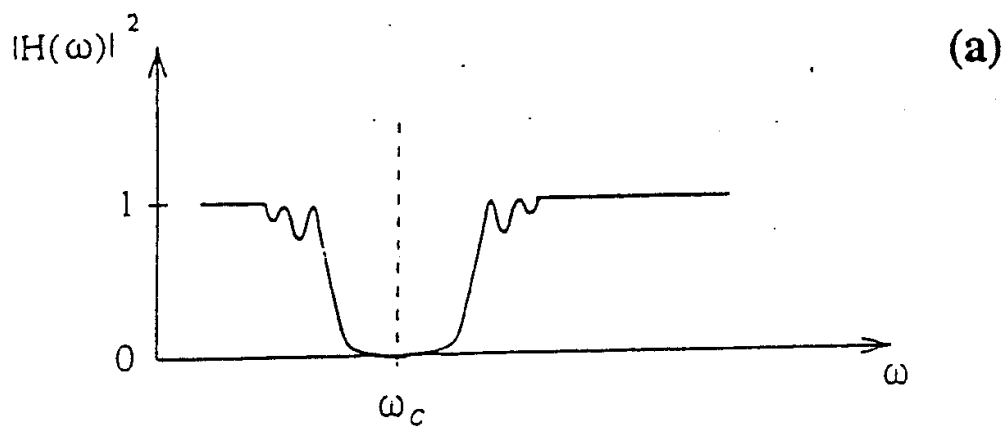


图 4

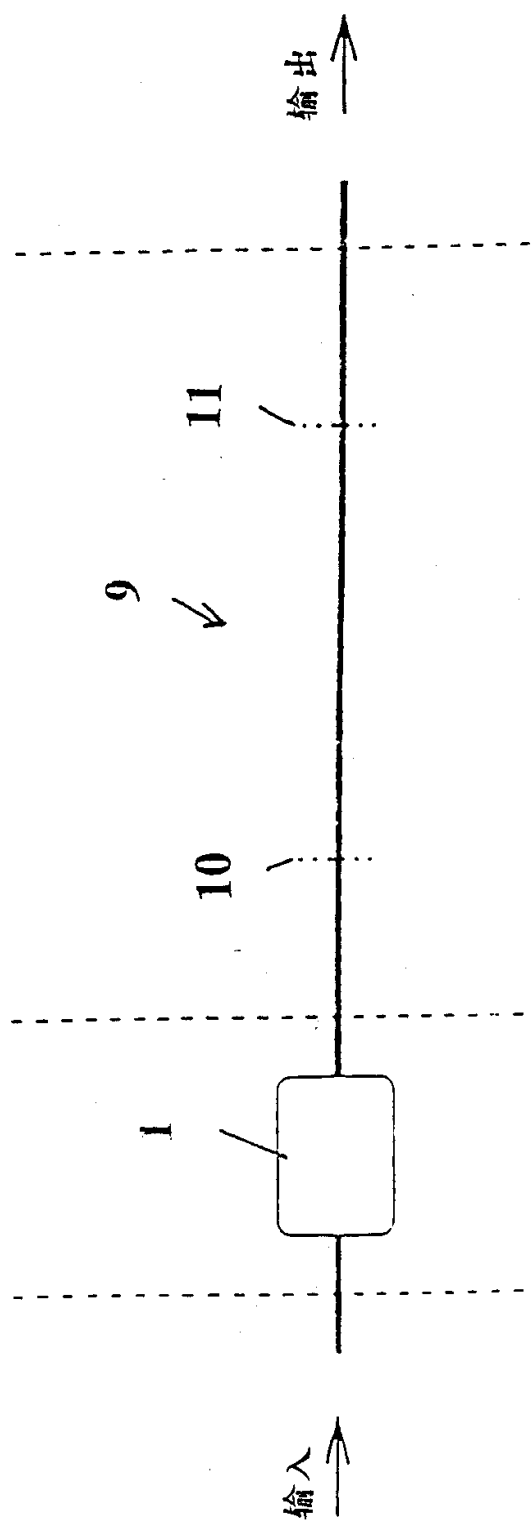


图 5

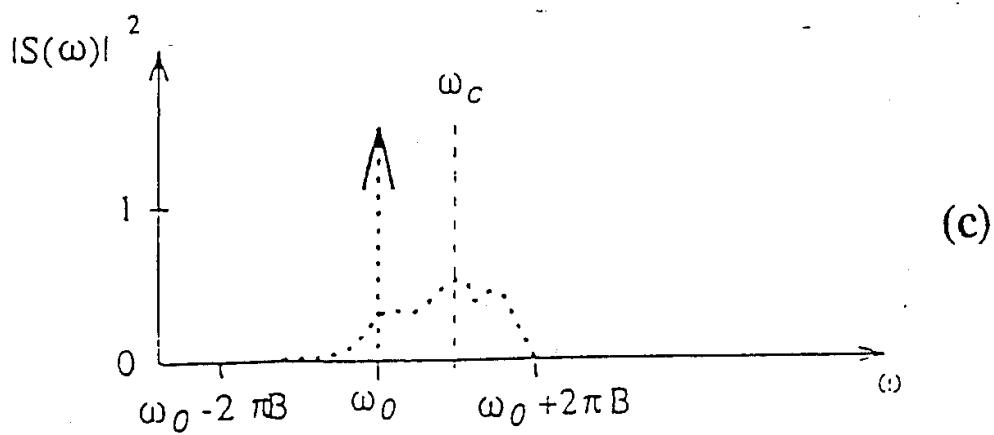
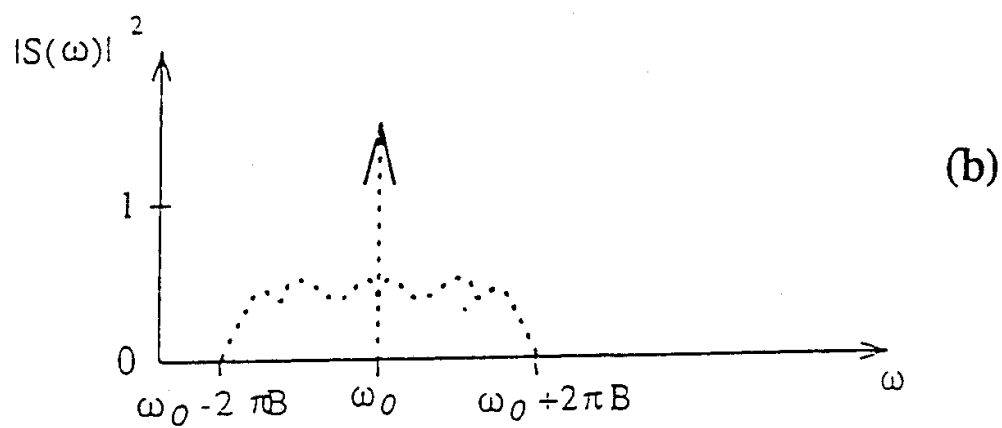
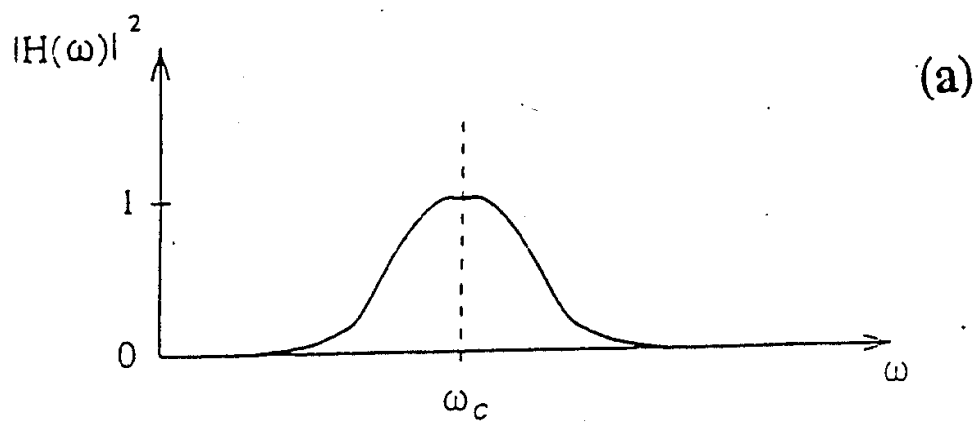


图 6