[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl[7]
G02B 6/04

[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 94105580.9

[43] 授权公告日 2003 年 4 月 16 日

[11] 授权公告号 CN 1105926C

[22] 申请日 1994.5.27 [21] 申请号 94105580.9

[30] 优先权

[32] 1993.5.28 [33] US [31] 069952

[71] 专利权人 美国电话电报公司

地址 美国纽约

[72] 发明人 安德鲁·R·克拉利维

罗伯特·威廉·塔克

审查员 5000

[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

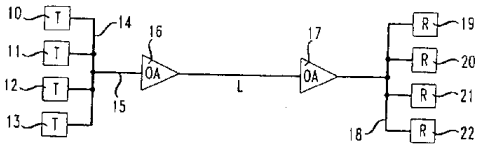
代理人 陆立英

权利要求书 2 页 说明书 18 页 附图 4 页

[54] 发明名称 大容量光纤网络

[57] 摘要

一种大容量的光纤网络以波分复用进行工作。设想的系统可使用超过 100 公里的间距距离，在间距内信号放大和提供工作在每秒几兆比的多条复用的信道。



ISSN1008-4274

1. 一种波分复用光波导系统，该系统包括：一个发射机，用于产生、调制和复用一组已调制信道载波，以引入到传输线路中，该发射机其特征在于，在该组信道载波的波长范围内的“系统波长”的幅值；一个接收机，用于执行包括对已调制信道载波“去复用”的功能；光放大器；和光纤传输线，所述的光纤传输线包括至少一个光纤间距，该光纤间距是其一端是一个发射机和在其另一端是一个接收机这两端之间所限定的，其中所述的间距包括至少一个光放大器，所述的系统的特征在于：

在所述的系统的波长上，限定所述的间距的光纤的主要部分具有色散其绝对值在 1.5～8ps/nm-km 范围内。

2. 根据权利要求 1 的系统，其特征在于，所述的系统波长约为 1550nm。

3. 根据权利要求 2 的系统，其特征在于，限定所述的间距的基本上是全部的光纤具有基本上均匀的色散。

4. 根据权利要求 3 的系统，其特征在于，所述的色散是≥2ps/nm－km。

5. 根据权利要求 2 的系统，其特征在于，限定所述的间距的光纤的平均线性色散是由包括不同符号的色散的至少两段的光纤来均衡到大约为零的数值。

6. 根据权利要求 5 的系统，其特征在于，限定所述的间距的基本上是全部的光纤具有均匀的色散≥2ps/nm－km，其中所述的均衡是由于包含有补偿光纤。

7. 根据权利要求 2 的系统，其特征在于，所述的光放大器是由铒掺杂二氧化硅构成的。

8. 根据权利要求 7 的系统，其特征在于，信道的极端波长规

定频谱≤20nm。

9. 根据权利要求 8 的系统，其特征在于，使用至少四条信道，信道间隔为 0.8-4nm。

10. 根据权利要求 1 的系统，其特征在于，在一个间距内的光纤的基本长度具有λ_0=1550nm，其中λ_0为色散等于 0 时的波长。

11. 适合在波分复用光波导系统中应用的其内包括至少一条光纤的产品，所述的光纤含有一个芯体和一个包覆的金属，具有在 1550nm 时其衰减≤0.25dB/km，色散梯度小于 0.095ps/(nm^2-km)，其特征在于：在 1550nm 对于光纤长度至少 2.2km 的光纤其平均色散的绝对值在 1.5～8ps/nm-km 范围内。

大容量光纤网络

本发明涉及以波分复用工作的大容量光纤网络。所考虑的系统基于：超过100公里的间隔距离；与间隔内的信号放大有关而与中继器无关；以及使用三个或更多个多路复用信道，每个信道工作在最少每秒5.0兆比。

与本发明相对应的技术在1992年11月的“光波”杂志第25—29页的优秀论文“色散位移光纤”中概述了。正如该文章所指出的，目前正建设的处于规划阶段的最先进的光纤系统都与色散位移光纤(*DS*光纤)有关。许多研制已导致载波波长选择为1.55μm。对于一般的单模石英(*silica*)光纤最小的损耗是在这个波长时，而且这时只有实用的光纤放大器一铒(*erbium*)放大器在这个波长上工作得最好。石英光纤的线性色散零点自然地落在大约1.31μm，这业已知道一段时间了，线性色散零点(*null point*)是色散改变符号并过零点(*zero*)的辐射波长。*DS*光纤其内色散零点位移到1.55μm与色散的两个主要分量的平衡有关；与材料色散和波导色散有关。波导色散由修整光纤的折射率分布(*index —of—refraction profile*)来

调节。

期待使用 *DS* 光纤有助于多信道工作—波分复用(*WDM*),多个相近地间隔开的载波波长限定了各个信道,每个信道都以大的容量(5.0 兆比/秒或更高) 来工作。供 *WDM* 用的设施在开始时或在打算提高(*upgrading*)时使用三条或更多条信道工作,每条信道工作得足以接近零色散点,并且每条信道以相同的容量来工作。设想的系统一般基于四条或八条 *WDM* 信道,每条信道以该容量工作,或者有可能提高到该容量上工作。

WDM 系统利用光学放大而不利用有可能使用的信号再生。在用光放大器替代依赖于电子检测和光再生的通常的中继器时,*WDM* 变得更实用了。使用铒放大器允许在中继器之间或在终端之间有几百公里的光纤间隔。处于规划阶段的系统在 360 公里的间距长度上应用光放大器以 120 公里为间隔。

上述的参考文章继续叙述把从分布反馈(*DFB*)激光器得到的窄频谱线宽度用于最大容量的长距离的系统。相当便宜的、可购得的 *Fabry Perot* 激光器足以用于一般原有的操作。如在该文中所报导的,分别由墨西哥的 *Telefonos* 公司、由 *MCI* 公司以及由 *AT&T* 公司装配的系统都基于 *DS* 光纤。

许多研究都考虑了非线性的影响(参见 1991 年 3 月"光波技术"杂志第 9 卷第 3 期第 356—361 页的 *D. Marcuse* 的文章"在具有光放大器在零色散 的 非常长的非线性光纤中单信道工作" 和 1991 年

1月的“光波技术”杂志第9卷第1期第121—128页的 *D. Marcuse*、*A. R. Chraplyvy* 和 *R . W. TKach* 的文章“在长距离传输中光纤非线性的影响”)。所研究的非线性影响包括:激励的布里渊(*Brillouin*)散射;自相位与交叉相位调制;四光子混合(*4PM*)和激励喇曼(*Raman*)散射。对于校正线性色散问题不是最终的解决方案,这已知道一段时间了。至少在原则上,工作在更长长度和更大容量的更加复杂的系统仍然也可能要求考虑非线性影响。

技术术语:

WDM(波分复用)—提供在单条光纤内的多信道工作。这些信道足够近可由一个光放大器同时放大。这时,被采用的普通的光放大器(掺铒石英光纤放大器)具有一个可用的带宽$\triangle\lambda=10-20nm$。

散射—在单独使用时,该术语是指“色散”,亦即因载波光谱内波长与速度有关的而产生的一种线性效应。

间距—这里指的是无中继的光纤长度。这个长度可能包括光放大器,它是站之间的距离,在这些站里信号已从电的形式被变换或者被变换为电的形式(通常是最靠近的信号再生器之间的距离)。这个间距可确定整个的系统,或者可与一个或几个另外的间距组合。

用这些最相关的术语来说,原有的或规化的 *WDM* 光纤通信系统的新设施要求光纤基本上在整个通信间距上具有最小的色散—禁止使用任何的相当长长度的 *DS* 光纤。这些间距可由具有所需恒定色散值且该值至少为 $1.5ps/nm-km$ 的的均一的光纤构成。另一种

可选择的方案是，这些间距可使用“串联”或“补偿”的不同色散的光纤系列。这两种情况都包括色散大于 $1.5ps/nm-km$ 的光纤。串联时使用具有相同数量级的正和负色散值的接连的光纤长度。而在补偿时使用具有很大色散值的“色散匹配的”长度相当短的光纤，补偿相反的色散大小的大的光纤长度。虽然不久的将来使用 WDM 系统可以容忍小的规定的平均数量的色散，而规划中的系统允许平均值为 $\lambda_0=1550nm$。对于该系统中任何给定长度的光纤而言，为了保持色散值低于某个最大值，可有一些选择。特别是对于总容量大于 40 兆比/秒的四信道或 80 兆比/秒八信道的系统，自发的增加光谱含量超过由载波产生的激光所引入的光谱含量，可导致容量限制色散。由于得到的色散实际上是非线性的，所以初始的脉冲含量不再是可恢复的。为此目的，对未来更复杂的系统可规定最大色散值为 $8ps/nm-km$。

信号容量是由于光纤路径设计而提高的，该设计避免四光子混合作为容量限制。这个考虑对于以下情况确定：间隔 $2.5nm$ 或更小的四个或更多信道的系统；间距长度至少等于 $300km$；允许放大器间隔至少 $100km$。据此，本发明被确定了。

共同申请的美国专利申请号 08/069962，现已授权为美国专利 5，327，516 号，申请日为 1994 年 7 月 5 日，其中提出一种光纤适合用于 WDM 系统且保证小而严格的色散的分布。它将用在本发明的一种形式中。

在其广义上，本发明反映了四光子混合是在规划的 WDM 系

统的设计中必须考虑的一个相关机制的观察结果。很多因素保证本发明的教导将采取上面叙述的形式的设想的实现。例如，为了引入必要的色散到 *DS* 光纤中，改变载波波长例如为 $\lambda=1550\pm20nm$，虽然在原则上是合适的，但这并非轻易可实现。在目前研制的进展阶段铒放大器有靠近 1550*nm* 的一个工作峰值。对于一条或几条信道，工作在偏离这个峰值 20*nm* 使该载波功率电平减少到不利的低值。可以设想，替换铒或在该放大器的设计中作其它某些改变将会允许这个工作。很可能在未来的系统中将继续利用常规的铒放大器的目前阶段或某些更先进阶段的设计。

四光子混合(*4PM*)取决于所产生的载波的精确波长。均匀间隔的、四信道系统一定会满足这个要求。*4PM* 的可能重要性对于三信道系统稍微降低了，即使在四信系统中准确的不均匀间隔在原则上也可避免它。采取这种方式中的问题是要求工作的参数可能超出目前的技术水平，而且无论如何将引入一些另外的费用。要保持这种精度的可靠的稳定度例如因热偏移是成问题的。

对于新安装的系统，这些替代的方式可能未被认真地考虑，但是对于地面(*inground*)系统的改进特别对于具有 *DS* 光纤的系统是有价值的。

图 1 示出 *WDM* 系统的示意图，它适合于讨论各种发明类型。

图 2—5 是画在功率和时间坐标上的“眼”图，表示由于包括线性色散的各种形式的色散和四信道系统的 *4PM* 在比特流中的 1 和

0之间的对比。基本工作系统特性对于所有的这些图都是相同的，它们的差别在于光纤的特性。

业已发现，*DSF*服务的最终目的随着色散被完全消除而受挫。*DSF*技术规范表的允许在$\lambda=1525-1575nm$的波长范围内色散容差小于$3.5ps/nm-km$其本身保证足够的非线性以在*WDM*操作中产生困难，在近期的系统中更甚。现在发现，由于非线性的形式使规划的系统是不能工作。限制的非线性—四光子混合(*4PM*)已经知道一些时间了，而且在文献中叙述了，参见上面引用的文章"在长距离传输中光纤线性的影响"。对于大多数的应用场合，*4PM*只在学术界感兴趣。所引用的文章在探讨间距长度为$7500km$的检查系统中具有合理的代表性。已有的系统(基于通常的间距长度，该长度很短)以及特别对于*WDM*操作的继续销售和安装的*DSF*符合这个观点。

减少因*4PM*复杂的电路设计所加的限制是可能的。请注意信道间隔和调制格式可允许继续使用大大减少的容量—有限数量的信道和有限距离的*WDM*系统的*DSF*。目前设想的*WDM*系统是不允许的，但是通过实施本发明而变得可能了。替换*DSF*允许例如寻求四信道工作的容量，每个信道至少$5Gb/秒$；无中继间距长度为$360km$或更长，和信道间隔为$1.0nm-2.0nm$。系统设计人员已经知道并且实施该教导。

如在本说明其它的地方所述的，特定的数值可能是说明性的，或

者可设计用于满足近期的实际目标。例如，1.0*nm* 或更大的信道间隔考虑了发射机和接收机可轻易地得到的频率稳定性。利用本发明的 *4PM* 方面的减少，具有其更大的允许的系统容量的较近的间隔可能是正当的。设计的考虑已导致设定 0.8*nm* 的间隔。

该教导取决于有熟悉本专业技术的读者的背景知识。更确切地讲，由于不同信道的相长与相消干涉引起的信号，*4PM* 表现为一个波动的增益或衰耗，如功率损失。*4PM* 不是噪声源。由于该后果是信号失真，一些部分的幅度增加而一些部分的幅度减少，该影响在以后可能不被矫正。因 *4PM* 的数 值与功率相关的，故通过减少发送的功率，可使该影响减少。对于给定的光纤间距长度，通过增加放大器数量以允许减少发送的功率，插入衰耗可被减少。如根据"术语"所定义的，*WDMF* 允许使用放大器，每个放大器工作在利用 *DSF* 对于已规化的 *WDM* 所不可能实现的功率电平上。为了这些目的，本发明的进步是根据放大器间隔为 120*km* 或更长、具有工作在发送功率电平为 2.5*mw/Gb*一秒的一个或几个放大器来规定的。

这些考虑根据对该放大器间的间隔的包括接头衰耗、老化效应等的期望衰耗预算为 33*dB*。否则可建议其它的考虑。作为一个明显的例子，由于再生器设备的更大的安装与维护费用，海底系统可使用与预期的陆地使用的系统大的多的间距长度。这又导致更近的放大器间距，达到间隔≤100*km*。

本发明的系统满足该系统设计者的高水平的期望，而目前的期

望表明用 *DSF* 不能实现。

图 1 示出已规划在不久的将来安装的特性的 *SDM* 系统。它由组合在无源 4：1 耦合器 14 中的四个发射机 10、11、12 和 13 组成。组合后的信号引入光纤传输线 15 中，该传输线配备有两个光放大器 16 和 17。在接收机端，四个信道的信号由“去复用器”18 分开，在此之后，分离的信号传送到四个再生器 19、20、21 和 22。

图 1 示出本发明的系统，它可包括更多数量的信道，目前规化为 8 个信道。更长的系统可包括更长间距或多个间距，以致于四个发射机可用于再生。对于规划阶段中的一个系统，间距长度是 360*km*，而放大器间隔为 120*km*。信道间隔开，载波波长的差值是 200*GHz*（或约 1.5*nm*）。如上讨论的，光纤路径大多由未变化的固定色散光纤“端对端”地组成的，或者可由串联的或补偿光纤构成。

所要求的 *WDM* 系统不同于主要以光纤传输线的特性目前规划的那些系统。先前的系统以色散是容量的控制因素的前提下设计的。人们期望，使用色散偏移光纤，允许 *WDM* 初始目标间距长度 360*km*、四信道、每信道容量 5 兆比/秒。本发明的推动力是：非线性色散的形式，四光子混合（*4PM*），防止四信道 20 兆比/秒容量目标的实现。直接得到的结果将是阻止使用任何长长度的 *DS* 光纤。人们希望新安装的系统现在使用色散性的光纤，所加的任何色散限制将由串联或补偿弥补。

这两种方式允许使用具有相当大的色散值的光纤，允许使用在

λ——=1550nm 测量的色散大于 4$ps/nm—km$ 或更大的光纤。这两种方式要求精确地规定光纤长度为正好补偿和减少色散为合适的程度。第一种方式，串联使用相反色散符号的“正常”色散光纤的接连的长度。“正常”意味着光纤的色散在或低于由该系统的材料色散引入的色散，对于现在使用的光纤，在或低于约为 18$ps/nm—km$。这种方式严格地用于水下安装置，但是一般已不考虑陆上使用。在安装之前，它确实要求对每种光纤作精确长度确定。第二种方式，补偿使用长度相当短的高色散光纤对正常的光纤补偿。人们希望，补偿光纤放置在卷盘上，该卷盘将被安装在放大器或终端点上。

图 2—5 的“眼”图示出作为时间函数的轨迹的(*trace*)信道功率。

这些图是通过给出作为时间函数的接收信号然后将时间轴位移一个比特间隔并再绘制而产生的。横坐标间隔约 1 比特长。由于在与所绘制的特定信道相邻的三条信道中传输，这时 64 个重叠的比特规定了最大概率(相长的相消)的干涉情况。这些眼图画出由没有轨迹的最大纵坐标值(峰值与零之间空白区的纵向尺寸)测量的最坏情况的损伤(*impairment*)。未被过度地损伤的系统表明在该图的中心具有大的“眼开口”(*eye opening*)的“1”与“0”之间的清楚的鉴别力。一个未受损伤的系统被认为具有 1.0 的“眼开口”。工作在接近 0.9 开口的实际系统被认为基本上未受损伤。为这种开口设计系统，较大的损伤在 *WDM* 情况下要求通过减少放大器/补偿距离和/

或通过降低放大器发射功率作出昂贵的设计修改。

这些眼图示出64比特型式，并包括(线性)色散和由非线性折射率引起的色散的影响。为了一致性起见，所有的曲线都是用于第三信道响应系数，并且是基本色散、*4PM* 和 *SPM*。工作的功率电平足够地低，以致其它非线性影响可被忽略(在非常低电平时的非线性影响是：激励的布里渊散射和激励的喇曼散射)。这些乱的线对所有有可能的相互作用进行响应。该图的重要意义在于"眼开口"，亦即在峰值与零之间存在部分空地。

图2示出 *DSF* 四信道 *WDM* 系统的眼图，该系统工作在：200*GHz*(1.5*nm*)信道间隔，360*km* 间距长度，120*km* 放大器间隔和工作在每信道容量 5*Gb*/秒，其接近0.560的开口是不适于工作的。因无色散，故色散和 *SPM* 可被忽略，这样，就因 *4PM* 而使眼完全闭合。

图3示出工作在相同条件下的 *WDMF* 系统的眼图。其接近0.814的眼开口对于工作有足够的对比。该图的系统不对其+2*ps*/*nm*—*km* 的色散进行补偿。使用补偿光纤减少其色散将进一步改善工作，尽管在这些条件下不需要它，但它会增加容量。

图4也示出用于相同的 *WDM* 系统的眼图，该图表示使用色散+16ps/*nm*—*km* 的光纤。该色散值足够高，在该工作条件下 *4PM* 是不重要的。乱线是由于色散和 *SPM*。该开口约为0.414。

图5示出图4中的所有系数，但对于每个放大器位置(具有

120*km* 的放大器之间的间隔）该色散补偿到零。补偿仅基于(线性)色散而完全忽略 *SPM*，该补偿使眼开口增加到近似 0.924。根据该图，在所述的工作条件下，至少是对于在该系统的 120*km* 线路长度上的补偿没有理由希望需要考虑 *SPM*。

导致闭合的 *SPM* 是一种非线性影响。在较长的长度上的补偿，例如，通过只在该间距的终点替换补偿光纤，由于这个影响增加三倍以上的闭合。该图建议这是无关紧要的。希望选择较小色散如≤8*ps/nm—km* 的光纤只涉及较长的“补偿到补偿的距离”的系统，或具有可观的较大的容量的系统。

I. 传输线：

A)*WDM* 光纤

DS 光纤既不要求串联也不要求补偿，其主要原因是它比其它方式更受欢迎。共同提交的美国专利申请号 08/069962，现已授权为美国专利 5，327，516 号，申请日为 1994 后 7 月 5 日，其中所述的 WDM 光纤被期望替代近期系统的 DS 光纤，近期的系统能容忍零色散。色散在其允许范围 1.5-4ps/nm-km 的这种光纤可能被用于四信道、360km 间距长度、20Gb/秒的系统。更高容量/间距长度的未来系统可使用 WDM 光纤线路，该光纤线路被补偿以便进一步减少线性色散。由于在该共同提交的申请中叙述的理由，对 WSM 光纤要求的色散符号最好是正的（+1.5-4ps/nm-km）。据此补偿的光纤应该是负色散的。如在该共同提交的申请中所指出的，本发明教导的含义超出了所指出的色散范围。这个范围的技术规范在对设想的系

统的平衡时是合适的。虽然与所规定范围相比有些减少，但利用较小色散到 1.0$ps/nm-km$ 和更小将继续保证比使用 DSF 有提高的容量。

如上文所指出的，在满足许多系统要求时虽然可使用 $WDMF$ 而不要求均衡，但是均衡可进一步增加容量。除了使用补偿光纤可均衡之外，还要求 一种特定形式的串联。这里，串联要求相反符号的色散的 $WDMF$ 长度，二个长度都在优选的色散范围 1.5—4$ps/nm-km$ 内。

适合于近期的系统中使用的 WDM 光纤试用的技术规范表如下：

WDM 技术规范表：

WDM技术规范表

在1550nm的衰耗	0.55—0.25dB/km
在1310nm的衰耗	0.45—0.50dB/km
模场直径	8.4±0.6微米
偏心率	小于或等于0.8微米
色层直径	125±2.0微米
截止波长	<1.30微米（2m参考长度）
色散	在1550nm时≥±2ps/nm—km
色散斜率	最大<0.095ps/nm²—km
宏弯曲	1圈，32mm，在1550nm时，<0.5dB 100圈，75mm，在1550nm时，<0.1dB
涂复直径	250±15微米
验收试验	最少50kpsi（高验收试验电平可根据要求）
卷绕长度	2.2，4.4，6.4，8.8，10.8， 12.6和19.2km

设计上的考虑是为了小而严格的色散，这是与 *DSF* 的主要差别。其它的设计标准尤其是有关宏弯曲衰耗、模场直径等等一般与目前的工艺水平（如 *DSF*）的设计一致，并且可随着取得的进展而变化。*AT&T* 技术杂志第 65 卷第 5 期(1986 年)第 105—121 页是说明性的。光纤以石英为基础，并且包括一个锗掺杂芯与一层或几层包层，这些包层可以是石英的或者可以是与氟掺杂的。整个 125μm 的结构有一个约 6μm 直径的纤芯。对于未掺杂的石英，折射率峰值为 $\triangle n$0.13—0.15。通常分布曲线是三角形的或梯形的，可能在 $\triangle n$=0.002 的 20μm 平台之上。所说的 *WDM* 光纤可由一盘的补偿光纤

补偿。1993 年 11 月 18 日提交的未授权的美国专利申请号 7/978002，现已授权为美国专利 5，448，674，申请日为 1995 年 9 月 5 日，其中所述的补偿光纤适合于这个目的。所示意的结构的色散为 2ps/nm-km。

B)补偿

其原理已经叙述了。很可能是采取一个主要段的正符号色散的光纤，接着是负色散的光纤。对于 *WDM* 光纤，补偿光纤可以是在该未授权的美国专利申请中叙述的那一种光纤。

对于自相位调制，由随机产生的不同波长引起的非线性影响已证明是小的。从图 4 和 5 可得出结论，在适当的距离上(在 120km 间隔的放大器位置的情况下）对(线性)色散的补偿有效地消除了所考虑的 *SPM*。在这些环境下，具有 λ_0=1310nm 的光纤是可接受的(不

考虑补偿的费用和不方便）。叙述所依据的近期*WDM*系统(360*km*间距长度，四信道,5兆比/信道)确实接受λ=1310*nm*的近似17*ps/nm—km*未校正材料色散的光纤。更长间距或更大容量的未来系统可使用近似8*ps/nm—km*色散的光纤。

考虑*SPM*导致在每个间距长度上补偿几次。在每个放大器(例如在120*km*的间隔)补偿近似17*ps/nm—km*的光纤满足对近期*WDM*系统的要求。本发明的进展对于所讨论的较短间距长度的系统是有用的。在这么短的长度上均衡(通过补偿或串联)不是如在整个*DS*光纤所进行的那样。为此原因,1*km*的距离上的均衡应排除。最好避免小于20*km*的长度。为了经济原因规定几十公里(如50*km*或更长)的未均衡光纤,实际系统设计是合适的。

C)串联

关于系统性能的考虑是非常类似于对于补偿的考虑。在比约20*km*还短得多的光纤长度上的串联导致线路性能接近*DS*光纤的性能，而且对于几十公里的未均衡长度的临时设计是合适的。另外的可能限制非线性影响的*SPM*对于设想的20兆比四信道系统是可容许的。规划提高以及更大容量的新设施可设定优选的最大色散约为8*ps/nm—km*。

正如补偿的情况一样,串联完全消除平均色散。目前规划的*WDM*系统可不要求这么精确。它足以使色散减少到所提出的*WDM*光纤技术规范表的色散($\geq$2.0*pw/nm—km*)。

不希望串联在近期的陆上系统中起着主要作用。

D)其它的考虑

间距长度已根据设想的系统进行讨论了。其中，已考虑360*km*长的间距。好像这样的系统也包含更短的间距长度。这个考虑可在广义上进行叙述。如果只允许设计的自由度和放松设计容差，该基本方法对于所有的*WDM*系统都是有用的。5兆比/秒、四信道的系统从对于大约200*km*间距的本发明的教导中获得很大的收益。容量与间距长度之间的关系由下列公式决定：

$$B^2L \leqslant 104000/D \qquad \text{（公式1）}$$

式中：

*B*为以兆比/秒为单位的比特率

*L*为以公里为单位的长度

*D*为以*ps/nm—km*为单位的色散

由于长度随着比特率的平方变化，对于10兆比/秒线路容量的相应间距长度为50*km*。一般说来，根据本发明教导的系统至少包括按照公式1的一个光纤间距。

Ⅱ.发射机：

这个部件及接收机和光放大器在*SPIE*杂志第1789卷第260—266页(1992年)的“光纤激光源和放大器*IV*”中详细地叙述了。该发射机包括每个信道一个激光器。激光器输出被分开调制，已调制的信号被复用以便馈送到传输线路。

Ⅲ. 接收机：

这个部件在一个间距长度末端可能是在该系统终点，或者可以是信号再生器的一部分。它包括一个“去复用”装置，用以使信道“去复用”。这要求一个可让感兴趣的信道波长通过同时阻塞其它的信道波长的装置。这个装置可以是调谐到每个信道而在输出端口与光纤组合的一个简单的分离器(见 *Nagel* 的文章)，也可以是在一个单元中将分离与滤波功能相结合的一个装置。

IV. 光放大器：

目前，这个部件是一个铒放大器。一个铒放大器的有用增益区是 $\lambda=40-50nm$。当放大器是串联连接时，净增益变窄(由于在峰值任一侧在“增益区”内的幅度是减少的)。所涉及的 $10-20nm$ 带宽对于三个放大器的间距是一个合理的值。

V. 其它的考虑：

对于大多数部件来说，其它的考虑是标准的。极少例外，设计与 *DS* 光纤一起使用的 *WDM* 系统可直接用于本发明。系统设计是根据对现有技术和本发明共同的考虑。如为了适合光放大器的峰值内的信道信道间隔是必要的。最大间距长度是由插入衰耗、发射功率和可容许的脉冲展宽设定的。根据所加的限制，所考虑的问题自然确定了。例如，使用没有补偿的 *WDM* 光纤确定了比特率与间距长度的乘积的限制。间距长度可按照方便进行设定，例如其中提供了补偿，或其中被串联的光纤长度即将开始。

规划的*WDM*系统使用外部调制以减少色散损失，并且改善信道的频谱稳定性。

1/4

图 1

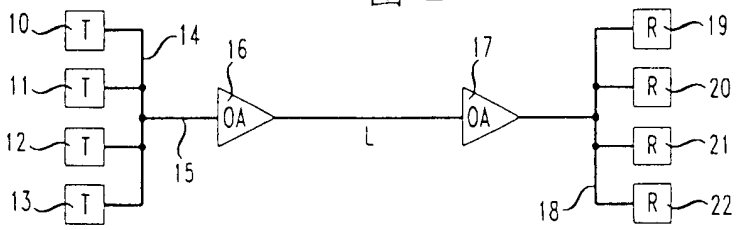

10
11
12
13
T
T
T
T
14
15
16
OA
L
17
OA
R
R
R
R
19
20
21
22
18

图 2

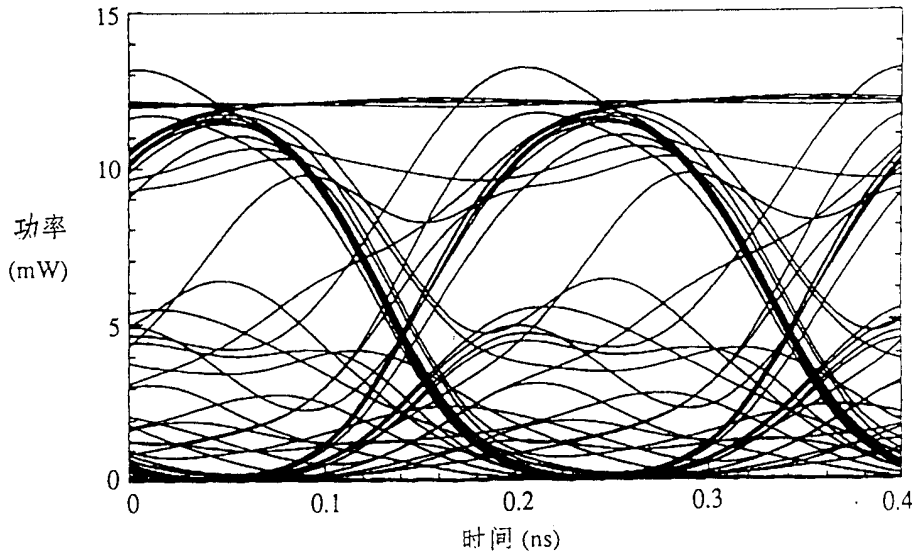

15
10
5
0
功率
(mW)
0
0.1
0.2
0.3
0.4
时间 (ns)

图 3

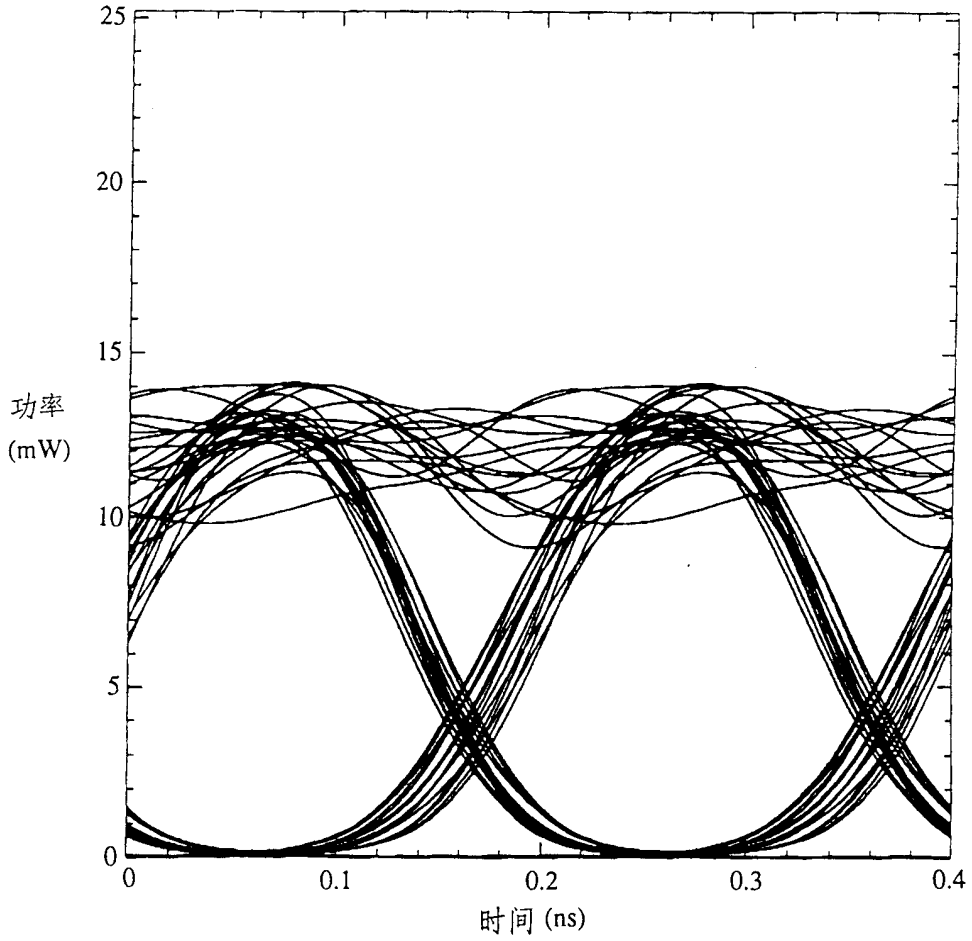


图4

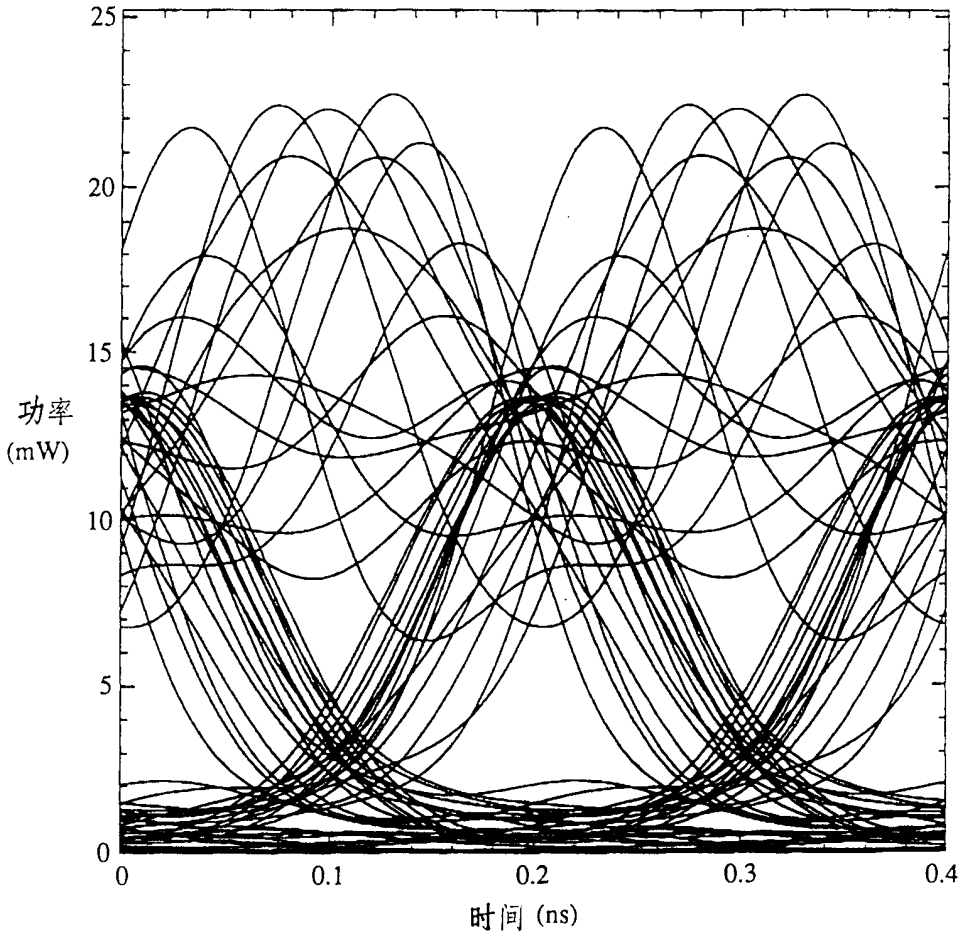


图5

