



[12] 发明专利申请公开说明书

[21]申请号 95120820.9

[51]Int.Cl⁶

H04J 14/02

[43]公开日 1996 年 10 月 9 日

[22]申请日 95.12.14

[30]优先权

[32]94.12.16[33]IT[31]002556A / 94

[71]申请人 皮雷利·卡维有限公司

地址 意大利米兰

[72]发明人 佛斯托·梅利

乔吉奥·格拉索

[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

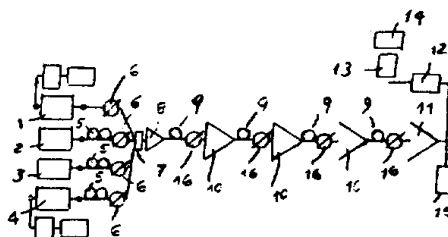
代理人 鄢 迅

权利要求书 4 页 说明书 27 页 附图页数 9 页

[54]发明名称 带有色散位移光导纤维的波分多路复用
电信系统

[57]摘要

光电信系统，包括至少两个在预定的传输波长带里所包括的不同波长上调制的光信号源，在单根光导纤维的入口多路复用所述信号的装置，和所述多路复用装置的一端连接的光纤线路，接收及多路分解所述信号装置。所述线路包括在所述传输波长带内具有比一预定值低的色散值的光导纤维，并且色散值随波长的增大而增大。在比所述传输波段的最低波长低一个量的波长上光纤出现零色散值。



权 利 要 求 书

1. 一种光电信系统，包括：

按预定的传输速度在预定的传输波长带里所包括的不同波长上调制的至少两个光信号源；

多路复用所述信号的装置，以输入到单根光导纤维中；

连接到所述多复用装置的一端上的光纤线路；

接收所述信号的装置，包括根据各个波长对信号本身进行多路分解的装置；

其中在所述光纤线路的至少一税分中所述信号具有高于一预定值的光功率值，该线路由在所述传输波长带内具有比一预定值低的色散值的一种光导纤维组成；

其特征在于：所述光导纤维具有随波长增大而增大的色散，在比所述波段的最低波长低一个量的波长上出现零色散值，该量使得在所述波段里不包括会在光纤上出现的并能产生四波混合现象的任何局部零色散值。

2. 根据权利要求1的光电信系统，其特征在于：使色散为零的所述波值至少比所述传输波段的最低波长比所述传输波段的最低波长低10nm。

3. 根据权利要求1的光电信系统，其特征在于：使色散为零的所述波值低于和等于1520nm。

4. 根据权利要求1的光电信系统，其特征在于：使色散为零的所述波值包括在1500和1520nm之间。

5. 根据权利要求1的光电信系统，其特征在于：在预定的传输波段里色散值低于 $3\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$ 。

6. 根据权利要求1的光电信系统，其特征在于：在所述线路的至少一部分上的所述预定光功率值不低于信道 3mW 。

7. 根据权利要求1的光电信系统，其特征在于：包括至少一个沿光线路安装的光放大器。

8. 根据权利要求7的光电信系统，其特征在于：所述光放大器具有包括所述预定波长带的信号放大波段。

9. 根据权利要求8的光电信系统，其特征在于：所述光放大器具有包括在1530和1570nm之间的信号放大波段。

10. 根据权利要求7的光电信系统，其特征在于：包括至少四个光放大器。

11. 一种光导纤维，用于在预定的传输波长带里发送至少两个光信号，

其特征在于：其在所述波段里具有低于预定值的色散并且在包括在一个预定范围内的一个波长值上色散变为零，该波长值的最大值要比所述波段的最低波长低一个量值，从而实质上在所述波段里不包括会在光纤的一部分长度上出现的并能产生所述信号的互调峰值的任何使局部色散为零的局部波长值。

12. 根据权利要求11的光纤，其特征在于：各个所述局部零色散的波长值和光纤里总色散零值的波长值相差小于 10nm 。

13. 根据权利要求11的光纤，其特征在于：在所述传输波段里

其具有低于 $3\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$ 的色散并且在一个比所述波段的最低波长值至少低于 10nm 的波长值上色散变为零。

14. 根据权利要求 11 的光纤，其特征在于：对于长度大于 5km 的整条光纤，所述光纤具有这样的色散值，从而在不同波长的几个信道上存在至少两个光信号以及各信道上信号馈入到光纤一端的功率至少为 3mW 和情况下不产生互调峰值，并且信号强度使信噪比等于和大于 20。

15. 一种用于按预定传输速度发送光信号的方法，包括下述步骤：

产生其预定波长包括在一个预定传输波段内的至少两个调制光信号，所述波长互相至少相差至少 2nm ，

把所述信号馈送到单模光纤里，单模光纤具有的色散在传输波段内低于 $3\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$ 并且在一个预定波长上具有零色散点，

通过至少一个有源光纤放大器放大所述光信号至少一次，

沿至少 50km 的距离发送所述信号，

经过多路分解接收机接收所述信号，

其中在所述光纤和至少一段上所述信号的功率大于能够因信道之间的四波混合而产生噪声的功率值，

其特征在于：传输波段的最低波长值比使色散为零的波长值要高一给定量，该给定量具有的值使得在重要的光纤部分里所述波段的色散值不变为零。

16. 根据权利要求 15 的方法，其特征在于：所述传输波段的所述最低波长要比零色散波长值至少高 10nm 。

17. 根据权利要求 15 的方法，其特征在于：使色散为零的所述

波长值在 1500 和 1520nm 的范围之内。

18. 根据权利要求 15 的方法, 其特征在于: 所述预定的传输速度高于或等于 2.5Gbit/s。

19. 根据权利要求 15 的方法, 其特征在于: 在所述光导纤维里可以由于信道之间四波混合的结果而引起噪声的所述信号的功率值至少为每信道 3mW。

20. 用于在预定传输波长带里发送对非线性现象敏感的光信号的一种光导纤维, 其特征在于: 在所述波段里光导纤维具有低于预定值的色散并且在包括在一个预定间隔内的一个波长值上色散变为零, 该波长值的最大值要比所述波段的最低波长低一个量值, 从而实质上在所述波段里不包括在光纤的一个长度部分上出现所述信号波谱变形的任何使局部色散为零的局部波长值。

21. 根据权利要求 20 的光导纤维, 其特征在于: 所述各个局部零色散的波长值至少与光纤里总零色散的波长值相差小于 10nm。

22. 根据权利要求 20 的光导纤维, 其特征在于: 在所述传输波段里它具有低于 $3\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$ 的色散并且在一个比所述波段的最低波长至少低 10nm 的波长值上色散变为零。

23. 根据权利要求 20 的光导纤维, 其特征在于: 所述预定传输波长带的范围为 1530 至 1560nm。

说 明 书

带有色散位移光导纤维的波分多路复用电信系统

本发明涉及采用色散位移光导纤维的波分多路复用(WDM)电信系统,在该系统中避免了由所谓的“四波混合”(FWM)产生的噪声效应。

在最现代的电信工程里,已经知道利用光导纤维来发送携带着信息的预定频率上的光信号以进行远程通信。并且还知道经光导纤维发送的发光信号在其传播期间遭受衰减,从而必须借助按预定间隔配置在传送线上的各个放大器对它进行放大。

出于上述目的,方便地使用着光放大器,在不对信号进行检测和再生的情况下通过光放大器在保持其光学形式的状况下放大信号。

所述光放大器是基于诸如铒的荧光掺杂剂性质的。当通过引入发光泵浦能量适当地激发时,荧光掺杂剂在和硅基光纤中的光的最小衰减波段相对应的波长带上具有强发射。

由于光导纤维构成材料的特性和折射率分布特性的结合,用于传输的光导纤维具有色散。色散随被发送信号的波长变化并且在其波长的一给定值上达到零。

该色散现象主要包括在信号经过光导纤维的传播期间扩大构成

信号的脉冲的持续时间，这种扩大归因于这个事实：各以自己的波长为特征的各个脉冲的不同的色度分量在光导纤维中以不同的速度传播。

由于所述的扩大，在发射处得到很好区别的瞬时相继的脉冲经过沿着光导纤维的传播之后可以在接收处部分地重叠，而且甚至不再能够把它们区别成分离值，从而产生接收上的差错。

通常所说的“阶跃折射率”(或 SI)的光纤具有这种光特性，在波长值约在 1300nm 处色散达到零。

因此在靠近 1500nm 的波长处用于电信的 SI 光纤具有一个重要的能够构成传输速度限制的色散值，也就是说可能在预定的单位时间发送大量的连续脉冲并且在接收处不出现差错。

而且已经知道广泛用于电信的所谓的色散位移光纤或 DS 光纤(即其色散零点被移动的光纤)，这种光纤实质上是适当地拉长其光特性从而把色散零点引导到波长值为 1500 至 1600nm 范围之内。

这种类型的光纤在 1993 年 3 月的 ITU—T G·653 建议书中规定，在该建议书里额定地规定在 1550nm 的波长值 λ_0 处光纤的色散达到零，并且该波长值具有 50nm 的容限。

这些光纤例如可从美国纽约州 Corning 城出产的商标为 SMF/DS(注册商标)的产品和意大利 Battipaglia 的商标为 SM DS 的 Fibre Ottiche Sud S. P. A 公司的产品中得到。

上面类型的光纤例如也在美国专利 4,715,679、4,822,399 和 4,755,022 中得到说明。

并且已经知道，在同一条传输线上发送愈加更大量信息的需求导致必然借助所谓的“波分多路复用”(或 WDM)方法在同一传输线

上发送更多的传输信道。根据波分多路复用方法在由单个光导纤维组成的线路上发送更多的由模拟或数字信号组成的信道，并且靠每条信道在所采用的传输波段之中是和它自己的波长相联系的来相互区别所述的多个信道。

该技术使得能够增加每单位时间内的所发送的信息的条数，所述的各条信息是分布在几个信道上的而各信道上的传输速度是相同的。

但是已经发现，通过所述的色散位移单模光导纤维的 WDM 传输引起信道之间的互调现象，称为“四波混合”或 FWM。

该现象在于，概括地说，在光纤里出现三个光信号会引起可以和这三个信号重叠的第四个信号，从而降低系统性能。

该现象的说明例如见：JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, Vol. 8, No. 9, September 1990, Page 1402—1408；该效应起因于非线性三阶现象因光纤芯的高场强度以及信号之间的长相互作用时间而变得非常强。

更详细地，该同一篇文献指出，对于特定的光导纤维通过增大信号频率之间的差别、增大色散或者增大传输长度从而增大信号之间的相位移动可以减小第四波(它是系统里的噪声效应)的最大生成效率。

在光导纤维是一种低色散光纤(例如上述的 DS 光纤)并且在光频之间具有小的相互作用有效区域(单模光纤)的情况下，产生第四波所造成的非线性可以变成对传输的限制，因为互调结果可落入接收波段从而产生噪声源。

上面提到的文献中提出的设计 WDM 系统时的解决办法包括考

虑不同信道的波长间的间隔和考虑信号功率。

从美国专利 5,327,516 中已知一种用于 WDM 电信系统的光导纤维,这种光导纤维在 1550nm 处具有范围在 1.5 和 4ps/(nm · km)之间的平均色散的绝对值并且在不短于 2.2km 的光纤部分上具有 0.15ps/(nm² · km)的较低色散曲线的斜率;如其说明书中清楚表达地(第 3 栏,第 1—5 行),光导纤维的这些特性实质上引入小程度的线性色散,其产生光信道之间的足以避免上述非线性效应的相位移动。

JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, Vol. 10, No. 11, November 1992, Pages 1553—1561 中报告第四波生成效率成为最大的另一种存在条件,并且指出其出现于当三个光载波中的两个光载波具有的波长相对于零色散波长彼此对称时或者当一个光载波具有的波长和导致零色散的波长相等时。

该同一文献提到这个事实,由于在光纤制造过程期间对其产生的干扰,使得色散为零的波长值沿光纤长度变化;从通过为零色散波长附近改变发光泵浦频率并且采用波长固定为 1557.7nm 的测试信号而实施的实验中,其作者检测出沿从同一个盘料中拉取出的 2.5km 长的光纤部分上的不同峰值。这意味着即使光纤是从相同的盘料中拉制各条测试光纤的,零色散波长也是不同的。

所检测到的零色散频率之间的差别的数量级为 100GHz(对应于 0.8nm 波长);对于 10km 长的光纤由于增大了信道频率之间的间隔显示出 FWM 效率的快速减小。

因而从上述结果中,所述文献得出为了能够在较宽的波长范围内运行必须制造均匀光纤的结论。

JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, Vol. 1, No. 10, October 1993, pages 1615—1621 中报告能够消除由传输系统的非线性产生的噪声的一种方法和一种光纤布局,其把“标准的快速色散光纤族($D < 0$)用作为发送光纤并且为了把两个中继器之间所包括的整个长度上再次把色散导致为零其引入了异常色散($D > 0$)的短光纤部分;该文献考虑了单信道的以及距离非常长的系统里光信道和放大后自发发射之间的 FWM 现象的情况。

在一个方面上,本发明涉及光电信系统,其包括:

—至少两个光信号源,它们用不同的波长调制、该波长在预定的传输速度上包括在预定的传输波长带内;

—多种复用所述信号的装置,以输入到单光导纤维里;

—和所述多路复用装置的一端连接的一条光纤线;

—接收所述信号的装置,包括根据各自的波长用于信号本身的光多路分解装置;

其中在所述光纤线的至少一部分中所述信号具有高于一预定值的光功率值,该光纤线包括在所述传输波长带内其色散值低于某预定值的光导纤维,该光电信系统的特征在于,所述光导纤维具有随波长增加而增加的色散,在比所述波段的最低波长低一个量的波长上出现零色散值,该量使得在所述波段里不包括会出现在光纤里的能产生四波混合现象的任何局部零色散值。

尤其,导致色散为零的所述波长值至少要比所述传输波段的最底波长低 10nm。

优先地,使色散为零的所述波长值低于或等于 1520nm,并且更为优先地处于 1500 和 1520nm 之间。

最好，所述光纤里的色散值比预定的传输波段里的色散值低 $3\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$ 。

最好，所述传输线的至少一部分上的所述预定的光功率值不低于每信道 3mW 。

在一种具体的实施方式里，本发明的系统包括至少一个沿光传输线安放的光放大器；尤其，所述光放大器具有包含着所述预定波长带的信号放大带，优先地该信号放大带包括在 1530 和 1570nm 之间。

在一种具体的实施方式里，该系统包括至少四个光放大器。

在第二个方面上，本发明涉及用于在预定传输波长带里发送至少两个光信号的一种光导纤维，其特征在于它具有沿着至少 10km 长度测量的色散，在包括在预定间隔内的一个波长值上色散变为零，该波长值的最大值比所述波段的最低波长低一个量，该量使得在所述波段里实质上不包括会在光纤的一个长度段上出现的能产生所述信号的互调峰值的任何使得局部色散成为零的局部波长值。

尤其，所述各个局部零色散的波长值至少比光纤里总色散零值的波长小 10nm 。

尤其，根据本发明的光导纤维在所述传输波段里具有小于 $3\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$ 的色散，并且在一个至少要比所述波段的最低波长值低 10nm 的一个值上色散变为零。

在另一个方面上，根据本发明的光导纤维的特征在于，对于长度大于 100km 的整条光纤其具有这样的色散值，从而在几个不同波长的信道上存在至少两个光信号以及每信道上信号馈入到光纤一端的功率至少为 3mW 的情况下不产生互调峰值，并且信号的强度

使得信噪比低于 20。

在再一个方面上，本发明涉及在预定传输速度上发送光信号的方法，其包括下述步骤：

—产生至少两个其预定波长包括在一个预定传输带之内的调制光信号，所述波长互相至少相差 2nm，

—把所述信号馈送到单模光纤里，单模光纤具有的色散在传输波段内低于 $3\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$ 并且在一个预定波长上具有零色散点，

—通过至少一个有源光纤放大器放大所述光信号至少一次，

—沿至少 50km 的距离发送所述信号，

—经过多路分解接收机接收所述信号，

其中所述光纤的至少一段上的所述信号的功率大于能够因信道间的四波混合而产生噪声的功率值，其特征在于传输波段的最低波长值比使色散为零的波长值要高一给定量，该给定量具有的值使得在有效的光纤部分里所述波段里的色散值不变为零。

优先地，所述传输波段的所述最低波长要比具有零色散值的波长大至少 10nm。

更为优先地，使色散成为零的所述波长值包括在 1500 和 1520nm 之间。

最好，所述预定传输速度大于或等于 2.5Gbit/s。

最好，在所述光导纤维里可以由于信道之间四波混合的结果而引起噪声的所述信号的功率值至少为每信道 3mW。

根据另一个方面，本发明涉及用于在预定传输波长带里发送对非线性现象敏感的光信号的光导纤维，其特征在于在所述波段里光纤具有低于预定值的色散并且在包括于一个预定间隔内的一个波长

值上色散变为零，该波长值的最大值要比所述波段的最低波长低一个量值，从而实质上在所述波段里不包括会在光纤的一长度部分上出现的能产生所述信号的波谱变形的任何使局部色散为零的局部波长值。

最好，所述各个局部零色散的波长值至少比光纤里总零色散的波长值小 10nm。

尤其，光导纤维在所述传输波段里具有的色散低于 $3\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$ 并且在一个比所述波段的最低波长值至少低 10nm 的波长值上色散变为零；最好，所述预定传输波长带范围从 1530 至 1560nm。

从下面参照附图的说明中更多细节将更清楚，附图是：

图 1 是一个图，表示实验性发送装置；

图 2 是一个图，表示对不同信噪比值测量的位误码率，该信噪比值取决于用图 1 的装置进行传输测试时接收处的功率；

图 3 表示在带有图 1 的装置和一条商用 DS 光纤的四信道传输测试中检测到的波谱；

图 4 是一个图，表示用于观察单条光纤中 FWM 效应的测试装置；

图 6 是一个图，表示在一条 5km 长的商用 DS 光纤上检测到的 FWM 效率；

图 7 是一个图，表示在一条 60km 长的商用 DS 光纤上检测到的 FWM 效率；

图 8 是一个图，表示在一条不同的 60km 长的商用 DS 光纤上检测到的 FWM 效率；

图 9 是一个图，表示对图 8 所示光纤模拟得到的 FWM 效率；

图 10 是 8 信道放大传输系统里的每信道最大允许功率的计算图, 该系统带有 100km 长的部分, 所使用的 DS 型光纤具有沿波谱不同区域分布的局部 λ_0 值;

图 11 表示利用图 1 的装置和根据本发明的一条光纤所检测到的波谱;

图 12 表示图 11 中所示波谱的光纤的折射率分布;

图 13 表示图 11 中波谱的光纤色散曲线;

图 14 表示根据本发明的一种光传输系统的一个例子;

图 15 表示适用于图 14 的系统的接口单元的一个例子;

图 16 是线路放大器图。

实验 1

图 1 中表示一种实验装置, 其用于检测受到放大传输系统里的四波混合(FWM)现象并且评估传输中所造成的噪声效应。

该设备包括固定波长为 1557nm 的外调制激光器 1, 波长在 1530—1560nm 的范围内变化的两个激光器 2、3 以及固定波长为 1550nm 的外调制激光器 4; 在实验 1 中激光 4 不工作。

激光器 1、4 由可从申请人处得到的商品名为 TXT—EM、系统 T31 的接口装置组成。

激光器 2、3 包括外腔谐振激光器(ECL), 型号分别为地址在日本 Micom Valley Thkadai, Kamisue, Komaki, Aichi 485 的 SANTEC 公司生产的 TSL—80 和美国马里兰州 Rockwell 市的 HEWLETT PACKARD 公司生产的 HP 816 78A。

由激光器 2、3 产生的可变波长的信号被发送到偏振控制器 5 和衰减器 6, 以供信道平衡。

偏振控制器 5 包括由类型为 SM 的直径约为 20—40mm 的光导纤维线圈构成的二个部件中的每个部件，每部件可绕轴摆动以使不同信道的偏振定向为最大。

这三个生成的载波被发送到无源光组合器 1×4 7 的引入线，通过光组合器各信号组合到单条输出光导纤维中。

所采用的组合器是一种熔凝纤维组合器，型号为 1×4 SMTC—0104—1550—A—H，由地址在 1855 Lundy Ave, San Jose, CA (USA) 的 E—TEK DYNAMICS 公司生产。

信号被馈送到增强器 8，然后从增强器馈入到由四段各为 60km 长的光导纤维组成光的一条线路里，在四段光导纤维中间安装了三个光线路放大器 10。

在最后一个光导纤维段的末端上连接着一个前置放大器 11。

前置放大器 11 的引出线经过 Fabry—Perot 滤波器 12 和备有误差测 (BER) 装置 14 的终端设备 13 (2.5Gb/s 的 Philips SDH) 相连，以及交替地该引出线和单色仪型光频分析器 15 连接，该分析器的型号是地址在日本东京 5—10—27 Minatoku 的 ANRITSU 公司生产的 MS9030A/MS9701B。

从线路放大器发送到各个光导纤维段的总功率约为 13dBm；等效光纤长度约为 23dB (经衰减器 16 引入了部分衰减)。

增强器 8 是申请人生产的 TPA/E—MW 型号。

线路放大器 10 为申请人生产的型号 OLA/E—MW；后面将给出该线路放大器的更详细说明。

前置放大器 11 定可从申请人处得到的 RPA/E—MW 型号。

实验 1 中所采用的光导纤维 9 是由 FOS 公司生产的色散位移

光纤 SM—DS, 具有下述额定性能:

—使色散为零的波长	$\lambda_0 = 1540\text{nm}$
—在 1550nm 处的色散	$D_c = 1 \text{ ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$
—色散曲线的斜率	$D_c' = 0.11 \text{ ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$
—模直径	$\text{MFD} = 8.1\mu\text{m}$
—截止波长(LP11 截止)	$\lambda_c = 1230\text{nm}$

根据 1993 年 3 月的建议书 ITU—T G · 650(所采用的光纤测量长度为 1—2km), 光纤的色散是按相位移技术测量的。

通过首先运行波长可变的激光器 2、3 并且检测接收波谱, 当一个外腔振荡激光器(2)定位在 1554nm 而另一个激光器(3)保持在 1548nm 时发现相当大的 FWM 成分。

然后把外腔振荡激光器 2 保持在上述波长上并把另一个外腔振荡激光器移动到 1550.37nm 上, 从而 FWM 互调成分将在外调制激光器 1 的固定波长 1557nm 处; 所得到的波谱表示在图 5 中。

在上述条件下, 然后接通激光器 1 并且按 2.5Gb/s(的速度)连接到线路终端设备 13 上, 从而建立一种在信号和 FWM 互调成分之间完全重叠的情况, 以便测量 FWM 产生的噪声。

通过滤波器 12 测量 BER 水平, 从而检验因带有不同信噪(S/N)比值的串话所带来的惩罚(penalty), 不同的信噪比值是通过改变作用在有关衰减器 6 上的输入信号的功率值得到的; 所获得的结果表示在图 2 中, 图中复制了分别在 $S/N = 14.7\text{dB}$ 、 13.3dB 和 11dB 的条件下检测的 BER 曲线 17、18、19, 而曲线 20 如下面的实验 8 中所述是在没有 FWM 时检测的。

如可以从图 2 中看出的那样, 对于 S/N 比 $= 14.7\text{dB}$, 存在

FWM 峰值是相对于无 FWM 情况产生约为 0.8dB 的惩罚的起因。

$S/N=14.7\text{dB}$ 和 $S/N=13.3\text{dB}$ 曲线之间的串话被认为是由于测量过程中信号偏振状态的变化造成的 FWM 摆动而产生的。

如果这两个产生 FWM 的载波还按 2.5Gb/s 携带 SDH 帧,则可以预料会有更大的惩罚。

实验 2

利用上面所说明的和图 1 所示的实验装置还进行了另一种传输检测,此时除了上述三个载波外还有一个由激光器 4 生成的波长为 1550nm 的第四个载波,所检测到的接收波谱表示在图 3 中。

在这种情况下可以看出该波谱除了各信号外包括着几个峰值,这是由于在一个载波为 λ_0 两个载波对称于 λ_0 以及两个载波具有靠近的频率的情况中所给出的 FWM 效应而造成的。

实验 3

为了确定传输中使用的光纤在 FWM 现象上的作用,准备了一个如图 4 所示的简化实验装置,其包括产生固定波长光载波的外腔振荡激光器 1 和产生可变波长光载波的外腔振荡激光器 2;两个激光器的输出光纤馈入到光耦合器 21;在激光器 2 的引出线上存在着偏振控制器 5 和用于平衡两个信道之间的光功率的衰减器 6。

光耦合器 21 的引出线上有一个增强器 22,后者和光传输光纤 23 的一端相连,光纤 23 终接于波谱分析器 15 的引入线上。

光耦合器 21 是由上述 E-TEK 公司生产的熔凝纤维耦合器型号 1×2。

增强器 22 为 AMPLIPHOS(注册商标)型号其具有 +15dB 的饱和功率,是由本申请人生产和销售的。

激光器 1 和 2 为和实验 1 相同的 ECL 激光器, 上面已作说明并且分别由 SANTEC 公司和 HEWLETT—PACKARD 公司生产; 激光器 1 的波长固定在 $\lambda=1556.54\text{nm}$ 。

波谱分析器 15 是已经说明的 ANRITSU 公司的单色仪。

用来测试的光导纤维是 SM—DS FOS 光纤, 光度为 5km。

激光器 2 产生的波长按 0.1nm 的步长变化。图 6 中所示的曲线图是用波谱分析器 15 获得的; 曲线表示对一个固定波长信道当改为第二信道的波长时产生的 FWM 的峰值 f221 的规格化效率 $E = P_{\text{FWM}}/P_{\text{FWMmax}}$ 。

具体地, 例如在 1544 和 1547nm 之间的范围内检测出两个效率极大值, 它们被认为是由于在光纤里出现两个分别为 1544.85 和 1545.55nm 的不同 λ_0 值而造成的。

实验 4

按实验 3 里的相同模式但采用 60km 长的光纤进行另一个实验。

图 7 中表示利用 1545.2nm 的固定波长激光器和按 0.1nm 为步长在 1550 和 1557nm 之间变化的可变波长激光器下得到的在长度 $L=60\text{km}$ 的光纤上的 f221 FWM 峰值功率 P 的测量结果。

按下述关系式的 1mW 输入功率的光载波下规格化功率测量:

$$P_{\text{FWM}}(\text{规格化}) = \frac{P_{\text{FWM}}}{P_{\text{in}_1} \cdot P_{\text{in}_2}^2}$$

其中 P_{in_1} 和 P_{in_2} 为光输入载波的功率值。

从该曲线上可以看出存在几个 FWM 效率峰值是由于沿光纤局部地出现不同的 λ_0 。

实验 5

实验 4 中所示的相同模式应用于进行另一个实验上, 在该实验里采用一个固定波长为 1525nm 的 ECL 激光器和一个可变波长 ECL 激光器, 这两个激光器和 FOS 公司生产的具有下述性能的商用 DS 光纤相连接:

- 使色散为零的波长(额定值) $\lambda_0 = 1525\text{nm}$
- 在 1550nm 处的色散 $D_c = 3 \text{ ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$
- 色散曲线的斜率 $D_c' = 0.12 \text{ ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$

- 长度 $L = 60\text{km}$

图 8 表示在 $P_{\text{in}} = 1\text{mW}$ 下规格化的、1527 和 1539nm 之间波段上的 FWM 的功率峰值 P_{FWM} 。

该实验表明, 尽管光纤的额定波长 λ_0 为 1525nm, 该光纤在 1527—1539nm 波段里的几个 λ_0 值上出现 FWM 效率峰值分布。

实验 6

通过模拟和上述实验中所测量的光纤相似的一条光传输光纤, 基于 JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, Vol. 10, No. 11, November 1992, pages 1553—1561 中所说明的数值进行模拟实验。该模拟实验由 30 个部分组成, 每个部分所具有的 λ_0 值随机地分布在 1527 和 1539nm 之间(和实验上观察到在局部 λ_0 上分布 FWM 峰值的波段相同)。

光纤的计算数据为:

- 衰减 $\alpha = 0.28 \text{ dB/km}$
- 玻璃的折射率 $n = 1.45$

—模直径

$$\text{MFD}=8\mu\text{m}$$

—三阶非线性极化率(susceptibility) $C_{1111}=4.26 \cdot 10^{-14}\text{m}^3/\text{J}$

—色散曲线的斜率 $D_c'=0.12 \text{ ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$

—长度

$$L=60\text{km}$$

图 9 中表示不同波长 λ 上的计算的规格化 FWM 功率峰值 P_{FWM} 。

从图 8 和图 9 之间的比较中检测出 FWM 峰的分布图, 该分布图非常类似于用单条商用型光纤实验检测到的峰值质量。

这样的结果使人们认为为了模拟而假定的分布类型给出的结果非常类似于经实验在实际光纤可检测到的结果(在一确定的波长带里)。

实验 7

利用上述的相同算法, 进行对放大的光线路的模拟。它由 N 个长度各为 100km 的光 DS 光纤段所组成并且按实验 6 所示进行模拟, 为了补偿衰减安装了有关的放大器, 系统中包括互相之间相隔相同距离的 8 个信道, 波长在 1530 至 1545nm 之间。

图 10 中的曲线表示 S/N 比 ≥ 20 下的各信道的最大可传输功率 P , 其取决于光纤段数 N 和有关的放大器。

曲线 24、25、26、27 分别对应 λ_0 值位于 1527 和 1537nm 之间、1520 和 1530nm 之间、1516 和 1526nm 之间和 1512 和 1522nm 之间的光纤的模拟结果。

从图中所示, 对于具有 λ_0 在 1527 和 1537nm 之间的光纤在一个或二个光纤段之后已经不可能在最大功率不低于每信道 2—3mW 的情况下观察到所需的 S/N 水平; 同样对于具有 λ_0 值在 1520 和

1530nm 之间的光纤显示出在最大功率不低于每信道 5mW 的情况下当多于 4 个各长为 100km 并各装有有关放大器的光纤段时不可能有所需的 S/N 水平。

另一方面应该注意，因带放大的光线路里的自发发射(ASE)的结果而出现的噪声又迫使把发送功率级保持在足够高，以便信噪比不受到惩罚，并且该要求随放大器的存在数量增加而增加；只是作为一种指示，对于具有 6 个放大器和 100km 长的光纤的系统为了不因 ASE 8(在 2.5Gb/s 处)而产生重大的惩罚每信道至少需要 3—6mW。

实验 8

利用图 1 中所示的实验设备进行一次新的实验，实验中实验 1 的商用 DS 光纤用具有下述性能的 DS 光纤代替：

- 使色散为零的波长(额定值) $\lambda_0 = 1520\text{nm}$
- 在 3S 上的分布(Distribution at 3S) = $\pm 10\text{nm}$
- 1530 和 1560nm 之间的色散 $D_c = 0.7 - 3 \text{ ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$
- 色散曲线的斜率(1550nm 处) $D_c' = 0.11 \text{ ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$
- 有效区域 $A_{\text{eff}} = 50 - 60 \mu\text{m}$

上述条件下接收处的波谱表示在图 11 中，而上述条件下所测到的 BER 曲线是图 2 中的曲线 20。

如图 11 所示不出现重要的 FWM 峰值而且图 2 的曲线表示对于 10^{-9} 的 BER 大约 -33.3dBm 之上的功率都能在接收处接收到，该功率要比已知光纤在相同 BER 水平上所需的功率要小得多。

根据已进行的实验和模拟,由于各信道之间的混合而造成的在技术上已知 DS 类型光纤上的噪声现象被认为是下述事实的结果:即使一条光纤是从相同的盘料上拉制成的,沿光导纤维长度所述光纤的使色散为零的波长不保持为常值,相反所述值所经受的局部变化量要远远超出文献中所指出的量,而且这些变化量是如此地大从而在某些光纤部分上局部 λ_0 值落到所述辑掺杂放大器的工作波段里,从而把各发送信道引导成相互作用并成为所观察到的混合现象的起因。

根据本发明的一个方面从而有可能制造一种具有移位色散零点的光导纤维,其适用于消除掉与高功率和高速度的信号有关的因 FWM 造成的尤其因光纤平均折射率的非浅性而造成的非线性现象。

具体地,根据本发明的光纤是一种具有下述性能的光纤:

- (额定值) $\lambda_0 = 1520\text{nm}$
- 在 3S 上的分布 $= \pm 10\text{nm}$
- 在 1550nm 处的色散曲线斜率 $D_c' = 0.06 - 0.08 \text{ ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$
- 1530 和 1560nm 之间的色散 $D_c = 0.7 - 3 \text{ ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$
- 有效面积 $= 50 - 60 \mu\text{m}^2$

图 12 和 13 中分别表示实验 8 的光导纤维的折射率分布和色散曲线。

在 1200 和 1700nm 的间隔里色散曲线实质上是线性的。

折射率分布为“分段中心”型。

只要从已规定的范围中选择使得色散等于零的波长,可以相信

对于用技术上已知的各种技术如 OVD、MCVD、VAD 得到的不同断面的光纤也可以达到相同的结果。

根据本发明的另一个方面有可能做成一种用于在高功率和高速度下 WDM 数据传输的光导纤维传输线,在这种传输下存在因所采用的光导纤维的折射率的非线性和距离长并引入有关的放大器而造成产生 FWM 现象,即使采用了 DS 型的光导纤维,因为光纤具有低于 $3\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$ 的色散从而能够消除或降低被发送脉冲的瞬时和宽现象。

在图 14 至图 16 里显示根据本发明的多信道 WDS 电信系统的最佳实施方式,该系统具备几个光原始信号源,在示例中表示了四个,28a、28b、28c、28d,每个所述信号命名为“外部信号”并具有自己的传输性能如波长、调制类型、功率等。从这些源中产生的信号被馈送到传输站 29,各个信号被发送到各自的接口单元 30a、30b、30c、30d,接口单元适用于接收外部光原始信号、检测和再生这些原始信号,从而赋予原始信号适应于传输系统的新性能。

尤其,所述接口单元产生波长分别为 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 的光工作信号,这些波长位于连续地安装在系统里的各放大器的有效工作波段之内。

在本申请人的美国专利 5,267,073 里说明了接口单元,从而该专利的描述用作为参考资料,该接口单元具体地包括一个传输适配器和一个接收适配器,传输适配器适用于把光输入信号变换为适合于光传输线路的形式,接收适配器适用于把发送的信号恢复成适合于接收单元的形式。

为了应用在本发明的系统里,传输适配器最好构成为产生输出

信号的激光器，即外调制型的激光器。

在图 15 中显示适用于本发明的一种类型的接口传输单元的简图，在图中出于清晰的目的，光连接用实线表示而电连接用虚线表示。

来自源 28a、28b、28c、28d 中的一个源例如如所示的来自源 28a 的光信号被光测器(光电二极管)31 接收，以发出馈入到电子放大器 32 的电信号。

从放大器 32 输出的电信号馈入到概括地用 34 标志的调制激光发射器的引导电路 33，其适用于产生一个选定波长上的包含着输入信号的信息的光信号。

常规地引导电路 33 还连接着一个许可业务信道的电路 35。调制激光发射器 34 包括激光器 36 和由电路 33 的输出信号引导的例如 Mach—Zender 型的外调制器 37。电路 38 控制激光器 36 的发射波的长度，把它保持在选定的恒值上并且补偿有可能的诸如温度等的外部干扰。

在上述专利里说明了用于接收的接口单元的类型并且由申请人用商口名 TXT/E—EM 投入市场。

然后把所述光工作信号馈送到信号组合器 39，其用于同时沿着单条光输出光纤 40 发送波长为 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 的光工作信号。

通常，信号组合器 39 是一个无源光装置，通过它在各自的光导纤维里发送的光信号耦到单条光纤里；这种类型的装置包括平面光学和微光学等里的熔融纤维耦合器。

作为例子，一种合适的组合器是地址在 1885 Lundy Ave, San Jose, CA(美国)的 E—TEX DYNAMICS 公司投入到市场上的组合

器 1×4 SMTc—0104—1550—A—H。

在下面被称为是 S1、S2、S3、S4 的所述工作信号经光纤 40 发送到增强器 41，增强器把所述信号的水平提高到充分高的一个值，这个值足以使它们能沿着后面的光导纤维部分传输以达到新的放大装置，在传输的末端处各信号保持着足够的功率水平以确保所需的传输质量。

然后光导纤维的第一段 42a 和放大器 41 连接，它通常是把阶跃折射率型单模光导纤维插入到几十(或几百)km 长的(例如 100km 长的)适当的光缆中组成的。

在光线路的所述第一段 42a 的示端有一个第一线路放大器 43a，其适用于接收在光纤路径上衰减的信号并且把衰减后的信号放大到足以使它们能够馈入到和前一段光纤性能相同的第二光导纤维段 42b 里的水平。

相继的线路放大器 43b、43c、43d 和各自的光导纤维段 42c、42d、42e 覆盖着所需的总传输距离并抵达包括前置放大器 45 的接收站 44，前置放大器 45 适用于接收信号并且为补偿因后面的多路分解设备造成的损耗把这些信号放大到适应于接收装置灵敏度的功率水平。

从前置放大器 45 中信号被发送到多路分解器 46，根据对应的波长经过多路分解器信号被分解并被发送到接口单元 47a、47b、47c、47d，这些接口单元适用于接收具有适合于传输系统的特性的光信号并且把它们恢复到光学原始特性或者其它特性，总之适宜于各个接收设备 48a、48b、48c、48d。

多路分解器 46 是一种用于在多条输出光纤中分配馈入到输入

光纤的多个光信号的装置，以根据各自的波长分离多个信号；该多路分解器可能包括把输入信号分配成几条输出光纤尤其是四条光纤上的多个信号的熔凝纤维分配器，各个所述信号被馈入到其中心在所关心的每个波长上的带通滤波器上。

例如，可以利用和已经说明过的信号组合器 39 相同的部件，但以相反的布局安装它并且和各自的带通滤波器相结合。

所指出类型的带通滤波器例如可以从地址为 2801 Buford Hwy, Suite 140, Atlanta, Georgia, US 的 MICRON—OPTICS 公司处得到，一种合适的型号是 FFP—100。

对于大约 500km 距离的高传输速度例如 2.5Gbit/s(从而对于四多路复用波长达到对应于单波长 10Gbit/s 的传输能力)的传输并使用四个线路放大器、一个增强器和一个前置放大器的情况，上面说明配置给出特别满意的结果。

出于本说明的目的并供上述应用，增强器 41 例如是一种具有下述性能的商用型光导纤维放大器：

—输入功率	—5 至 +2dBm
—输出功率	13dBm
—工作波长	1530—1560nm

增强器没有陷波滤波器。

一种适当的型号是由申请人投入市场的 TPA/E—12。

所述放大器采用 Al/Ge/Er 型的铒掺杂有源光导纤维。

“增强器”指的是在饱和状态下运行的放大器，它的输出功率取决于泵浦功率，在欧洲专利 EP439,867 号里对它有详细说明，该专利作为本专利的参考文献。

出于本发明的目的并供上面的应用,“前置放大器”指的是安装在线路末端处的放大器,它能把馈入到接收机的信号提高到通常高于接收机本身灵敏度阈值(例如在接收机的入口从-26至-11dBm)的一个值,并在同时只引入最小可能的噪声并保持信号的稳定。

例如,为了构成前置放大器45,可能使用下面说明的把相同的有源光纤用作为放大器43a-43c的线路放大器,或者可能特意根据特定的需要为该目的设计一个放大器。

一种适当的型号是由申请人投入到市场的RPA/E-MW型。

上面所说明的传输系统的结构特别适于提供所需的性能,尤其在对作为系统的一部分的线路放大器提出特殊选择的性能情况下适用于多信道WDM传输,特别当特殊选择的性能涉及发送多个选定波长的能力并使这些波长中的一些波长不会相互惩罚。

通过利用设计成在串联运行条件下对不同的波长具有基本均匀的(或“平的”)响应的线路放大器,从而放大器适用于串联运行情况,可以确保在1530和1560nm之间的波长带上所有的信道具有一致的性能。

b)线路放大器

出于上述目的,根据图16的图构造一种意图用作为线路放大器的放大器,其包括铒掺杂有源光纤49和对应的泵浦激光器50,通过二向色耦合器51连接;在光纤49的沿着要放大的信号的传输方向的上游设置一个光隔离器52而在有源光纤自身的下游设置第二光隔离器53。

该放大器还包括第二条铒掺杂有源光纤54,经过二向色耦合器

56 它与对应的泵浦激光器 55 相连；在光纤 54 的下游上存在另一个光隔离器 57。

备择地，根据特殊的使用要求线路放大器可以按单级结构(未示出)构造。

在下表中综合了线路放大器里的有源光纤的最佳成分及光学性质

Al ₂ O ₃		GeO ₂		La ₂ O ₃		Er ₂ O ₃		NA	λ _c
%wt	(%mol)	%wt	(%mol)	%wt	(%mol)	%wt	(%mol)		nm
4	(2.6)	18	(11.4)	1	(0.2)	0.2	(0.03)	0.219	911

其中：

%wt=芯中氧化物的重量百分量(平均值)

%mol=芯中氧化物的克分子百分量(平均值)

NA=数值孔径($n_1^2 - n_2^2$)^{1/2}

λ_c=截止波长(LP11 截止)

对成分的分析是通过显微探针和扫描电子显微镜(Hitachi 公司的 SEM)的结合在盘料(在拉出光纤之前)上进行的。

该分析是在 1300 的放大倍数下沿直径方向分布的互相间的距离为 200μm 的离散点上进行的。该所述的光纤是在石英玻璃管中用真空镀膜技术制造的。

在该光纤里把锆掺入为光纤芯里的 SiO₂ 基体的掺杂物是在合成工序里获得的。

把铈、氧化铝和镧掺入到光纤芯中是通过所谓的“在溶液中掺入”技术得到的，在该技术中在硬化盘料之前，纤维芯的合成材料

处于细粒状态的同时使掺杂剂氯化物的水溶液和该材料相接触。

可以从例如美国专利 5,282,079 中找到有关在溶液中掺入技术的更多细节,从而该专利是本发明的参考文献。

泵浦激光器 50、55 最好是具有下述性能的 Quantum Well(真空井)型激光器:

—发射波长 $\lambda_p = 980\text{nm}$

—最大光输出功率 $P_u = 80\text{mW}$

所提到的激光器类型例如是由地址为 37North Avenue, Burlington, MA(USA)的 LASERTRON 公司生产的。

所提到的二向色耦合器的类型是已知的而且例如是由地址在 Baymeadow Drive, Germ Burnie, M. D. (USA)的 GOULD 公司的光纤光学部和地址在 Woodland Road Torquay Devon(GB)的 SIFAM 公司的光纤光学部生产的。

光隔离器 52、53、57 的极化控制和传输信号的极化无关,并是隔离度大于 35dB 和反射性低于 -50dB 的光隔离器。

此处采用的隔离器是可从地址在 64Harding Avenue, Dover, New Jersey, USA 的 ISOWAVE 公司得到的 MDL I-15 PIPT-A S/N1016 型号。

在所说明的系统里线路放大器规定在总光学输出功率约为 14dBm 和增益约为 30dB 的条件下运行。

一种适合的型号是由申请人商品化的 OLA/E-MW。

在本发明的说明中当未做其它的规定时,在光纤中使色散为零的波入(λ_0)指的是可以通过在已经提到过的 ITU-T G.650 建议书中报道作为参考方法的相位移动技术测量的额定值(或平均值),

这个值是经在长于 1km 的光纤上进行测试得到的并且根据它可以计算出被检验的光纤部分的总色散。

另外，作为光纤中使色散为零的“局部”波长(局部 λ_0)指的是可以局部性地采用的 λ_0 值，其随光纤结构的起伏而在有限长度的光纤段上出现，在 FWM 峰值和传输信道相一致或者具有函数关系的情况下其足以产生 FWM 峰值；除其它因素外，该长度尤其取决于光纤里不同信道上出现的光功率并且取决于 FWM 峰值可能受到放大的事实；只是作为一种指示，几百米的长度可以给出重要的效应。

根据本发明的一个方面已经发现，为了减小多波长传输系统里因 FWM 而造成的噪声的效应，只具有其额定(或平均)色散值在传输信号波段里不为零的光纤是不充分的，而且还必须使得光纤额定(或平均)色散为零处的波长值比供传输的最低波长值足够低。另外，已经发现，为了在不受到来自 FWM 的惩罚的情况下提高最大的连接距离，必须相应地增加使色散为零的波长值和传输信道的最低波长之间的距离。根据本发明，还有可能通过一个过程能在采用 DS 型光导纤维的放大的多信道 WDM 传输线路里进行光信号传输，这个过程具有确定光纤里使色散为零的(平均)波长值以及确定同一光纤里零色散的局部波长值的步骤；然后根据这些值选择传输波段，从而使传输波段离开光纤色散的该平均波长值一个量使得在传输波段本身里不包括任何的所述局部零色散波长值。备择地，可这样选择用于传输的光纤使得光纤里(平均)零色散的波长值离 WDM 传输采用的波段足够远，从而防止所述光的显著长度部分上具有落入到所述传输波段内局部使色散为零的波长值。根据本发明，当用 980nm 的泵浦激光器工作时，观察到传输波段可以延长直至约 1530nm 并

且发现问题不仅和最大值有关而且和色散的局部零值有关。

本发明是在波分多路复用技术及与该技术相关的四波混合现象方面详细说明的；但是，必须注意到和在光导纤维中的传播相关的其它非线性现象类似地也受到光纤色散值以及沿光纤长度上的光纤色散不变零值的影响，从而从本发明中也能得到好处。

上述情况的一个例子是非线性传播条件下的高速光传输；特别在色散位移光纤里孤波传播的情况中已经观察到当发生孤波传播的光纤线上包括具有负色散值(正常色散)的给定长度段(数量级为几公里，例如 5km 或更长)时，孤波脉冲变成受到强烈的扰动并且明显地增大孤波波谱宽度(例如，孤波波谱宽度的明显增大为大于约 10%)。

这是由于这样的事实造成的，在这些光纤部分里色散线性调频和相位调制线性调频之间的补偿消失了。(词“线性调频”(chirping)意思是光载波里瞬时频率上的变化)。

当孤波在所谓的“正常”色散光纤里(即在具有负色散的光纤里)传播时因其非线性特性而发生的脉冲退化在“异常”色散光纤的长度上(即具有正色散的光纤里)的后继传播中只能得到部分的恢复：因此，同样在这种类型的传输中，如在本发明中所规定的那样，使得线路上所采用的光纤实际上在孤波传输中所使用的波长范围内不具有 λ_0 值是非常重要的。

随着信号位速率的提高具有正常色散的最短临界光纤长度变短，而超过最短临界光纤长度和该现象是有关系的；因此，对于超过 10Gbit/s 尤其超过 40Gbit/s 或更大速度下工作的光链路采用根据本发明的光纤是尤其重要的，并且与其相关的容限将变得更严

格。

而且，借助根据本发明的在 1500—1520nm 范围内具有额定 λ_0 值的光纤，可以用宽波长带尤其扩展到光放大器整个可使用范围的波长带进行孤波传输。

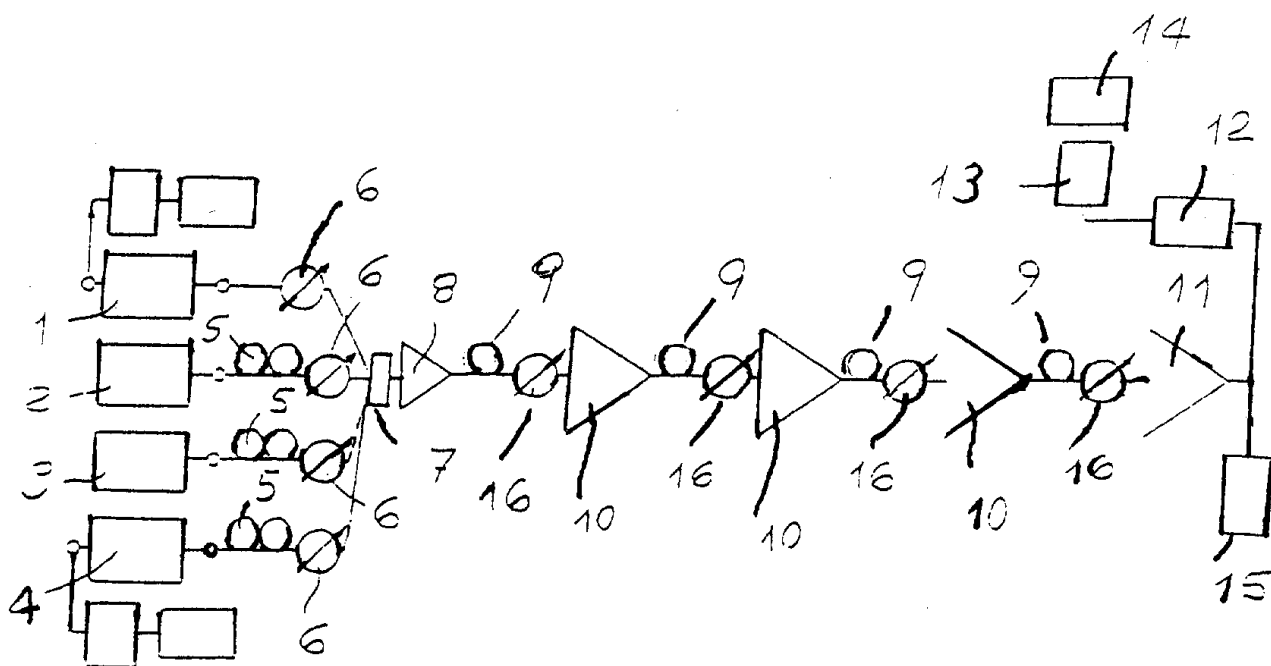


图 1

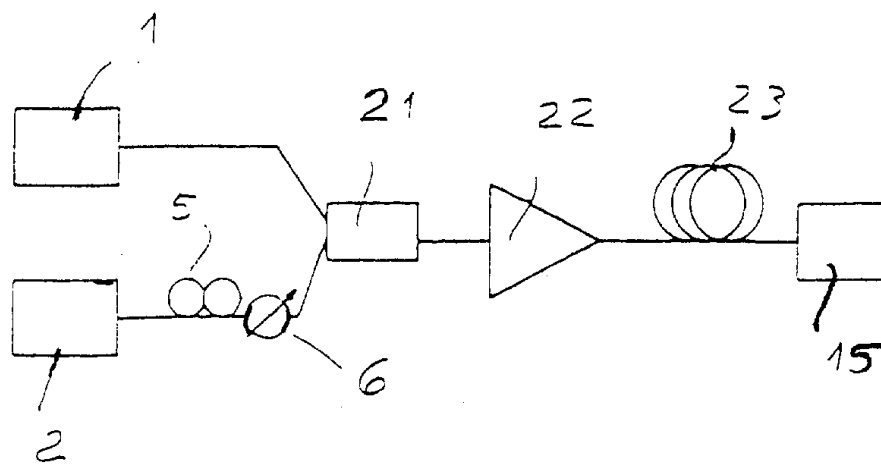


图 4

波谱

设备: MS9701B

94-09-22 14: 48

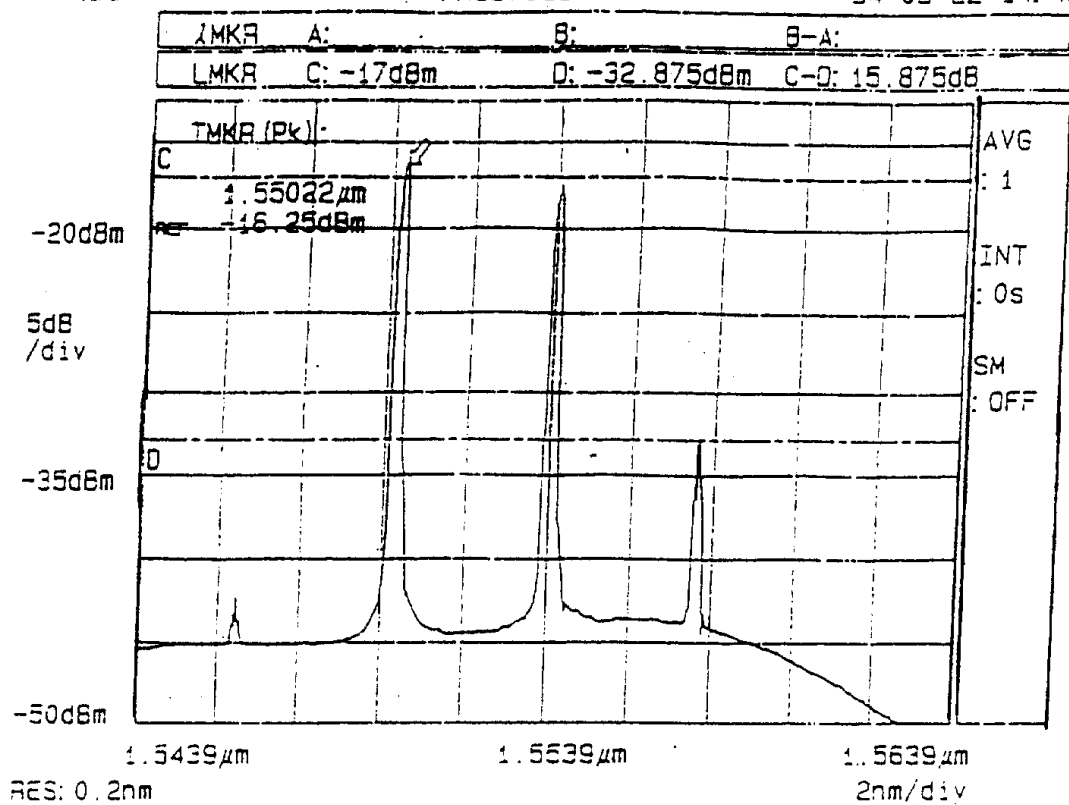


图 5

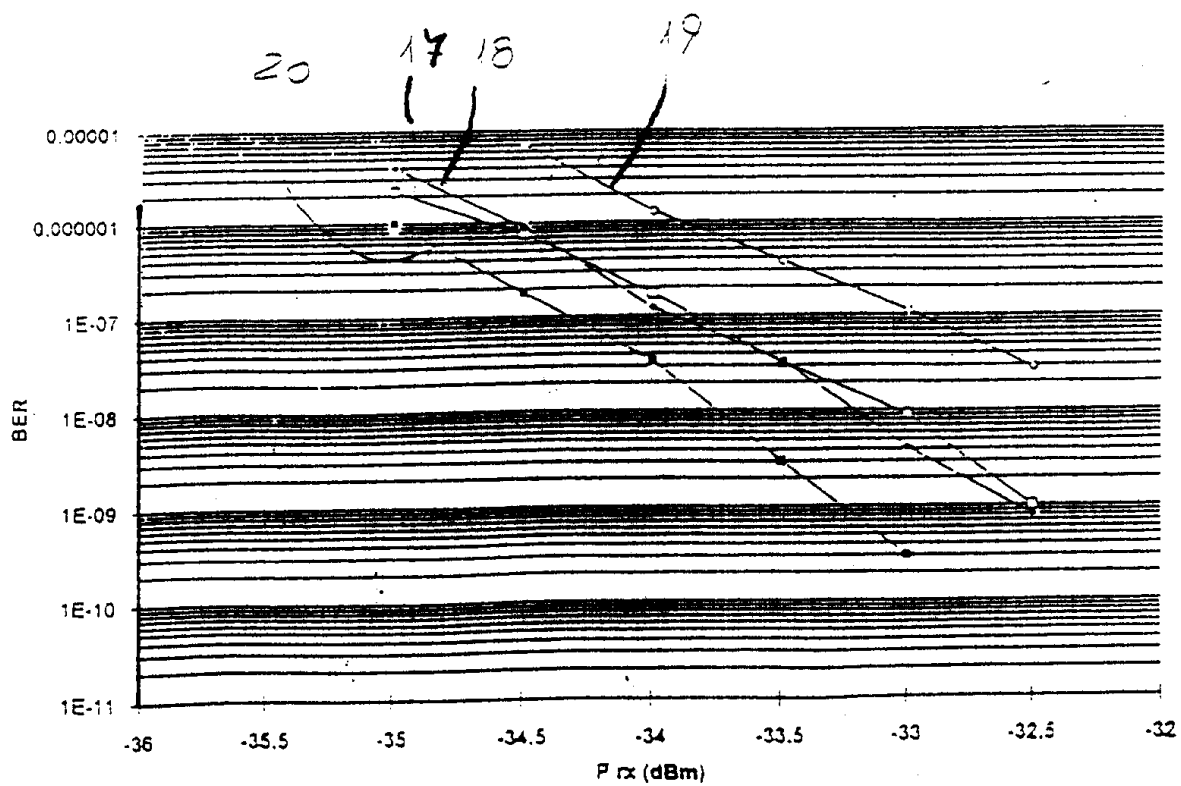


图 2

波谱

设备: MS9701B

94-09-22 14:35

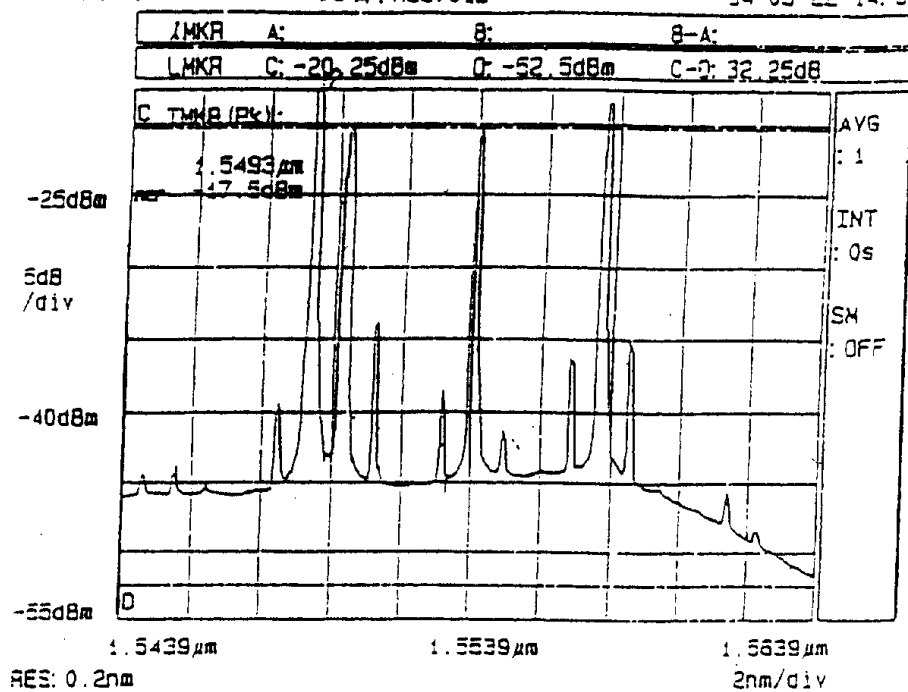


图 3

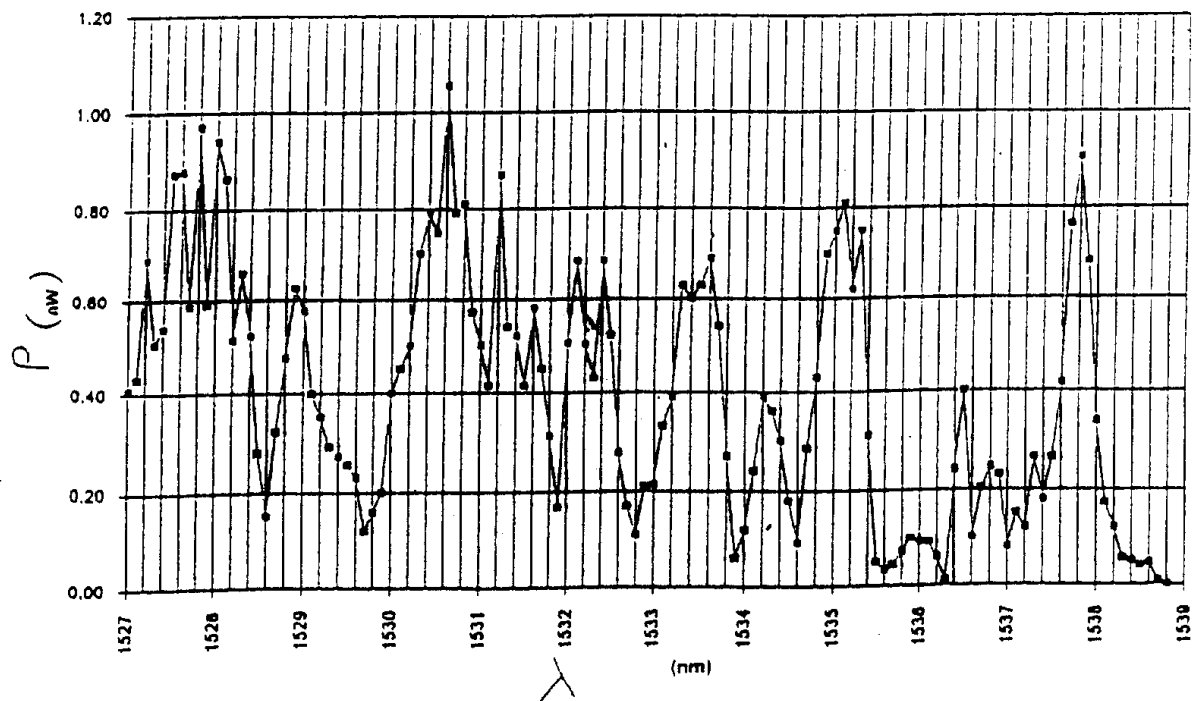


图 8

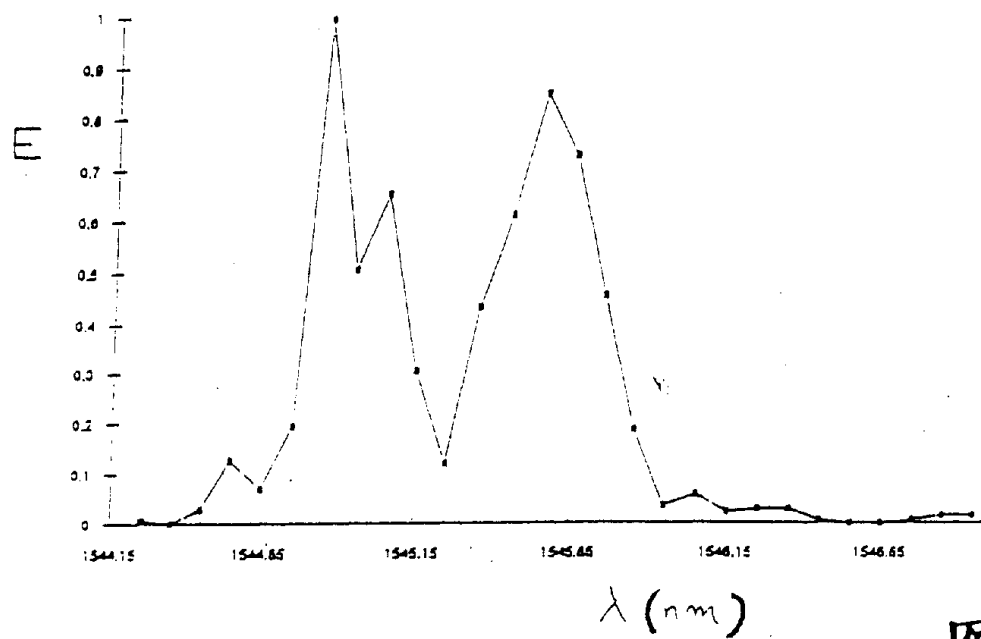


图 6

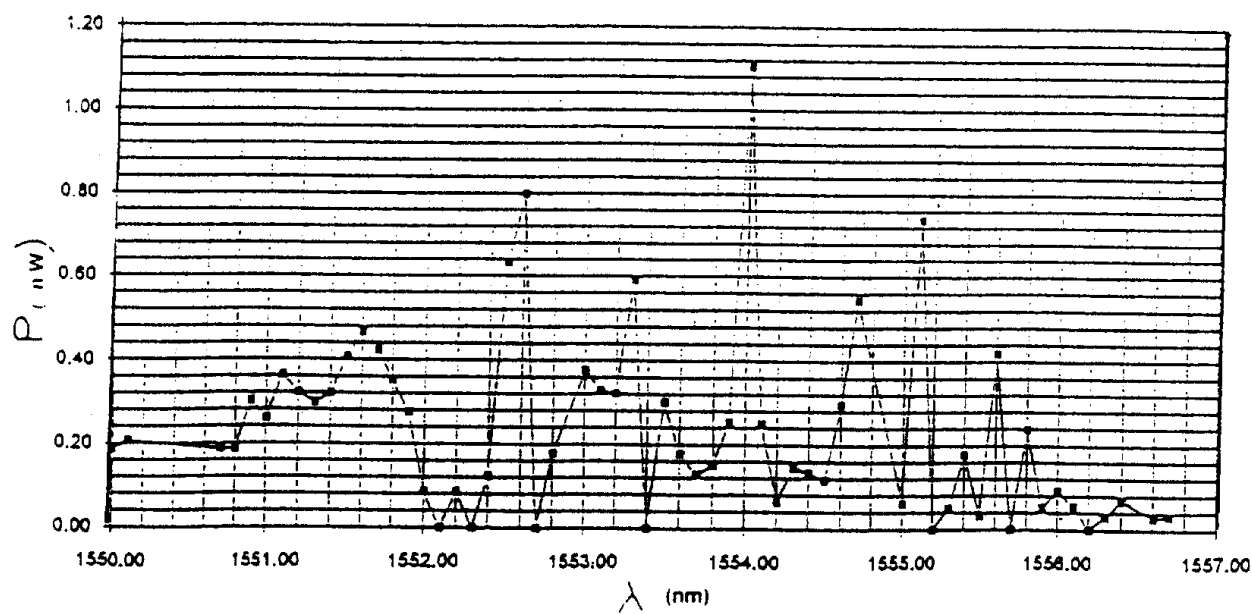


图 7

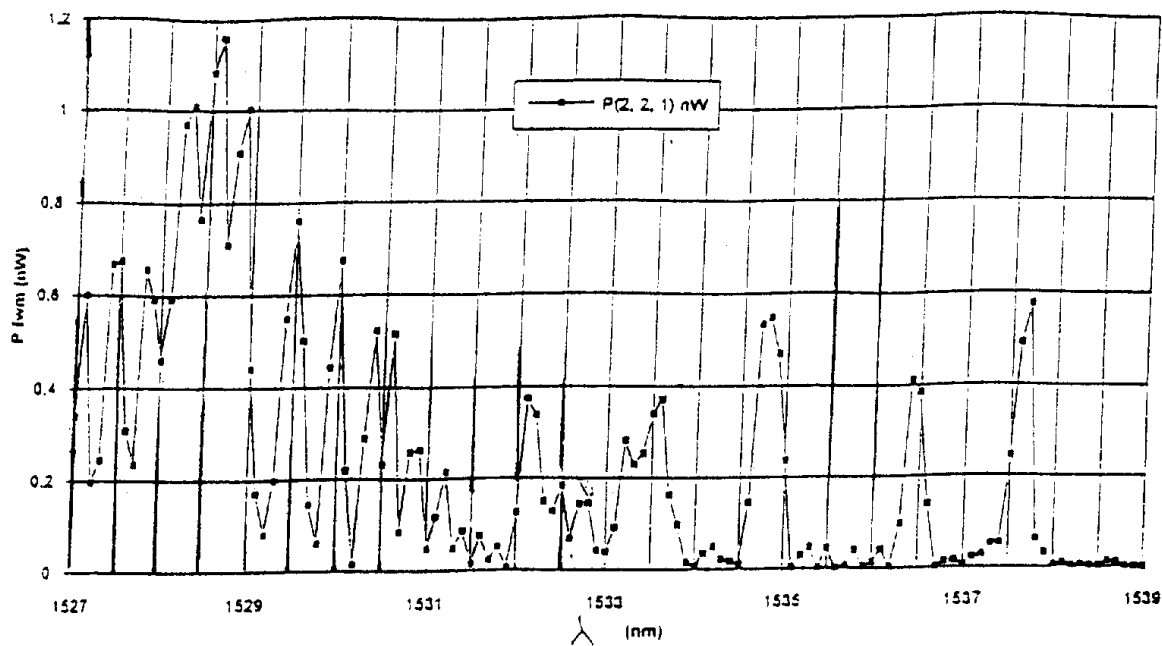


图 9

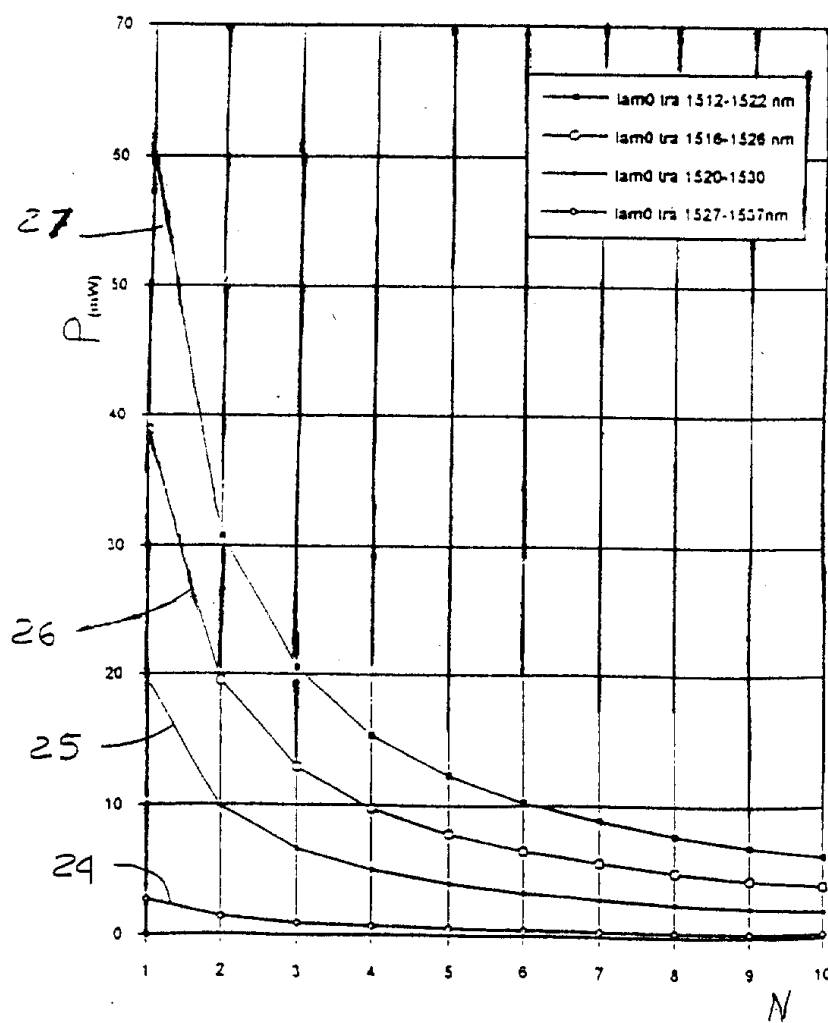


图 10

波谱

设备: MS9701B

94-09-22 14:31

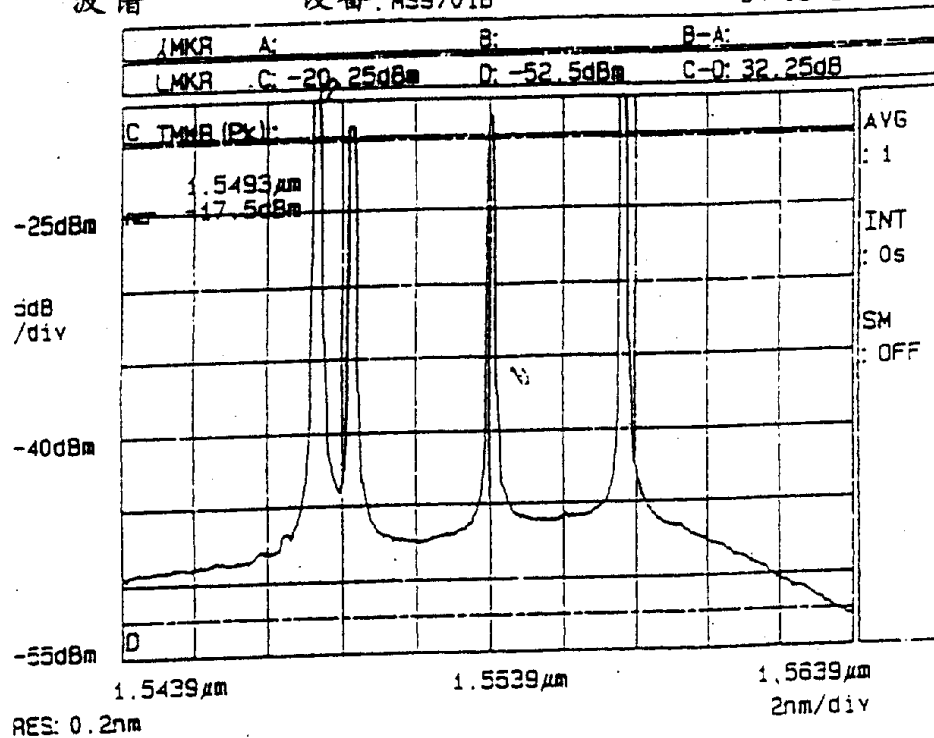


图 11

Measurement: 8081, at 18:30 on 12 Jul 94; 步长: 5.224 microns
 Plot: Ser. no: 1887, Cases code: 883-0345-02 Prod. Code: 44
 Plot position: 18 sec, Angles: 8 degs

纽克技术

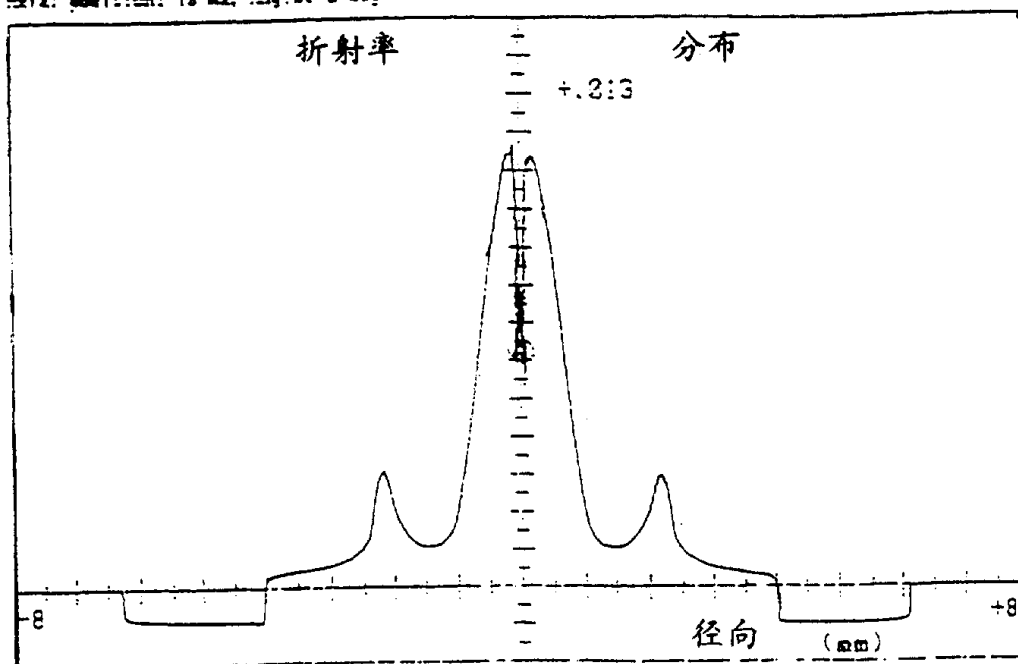


图 12

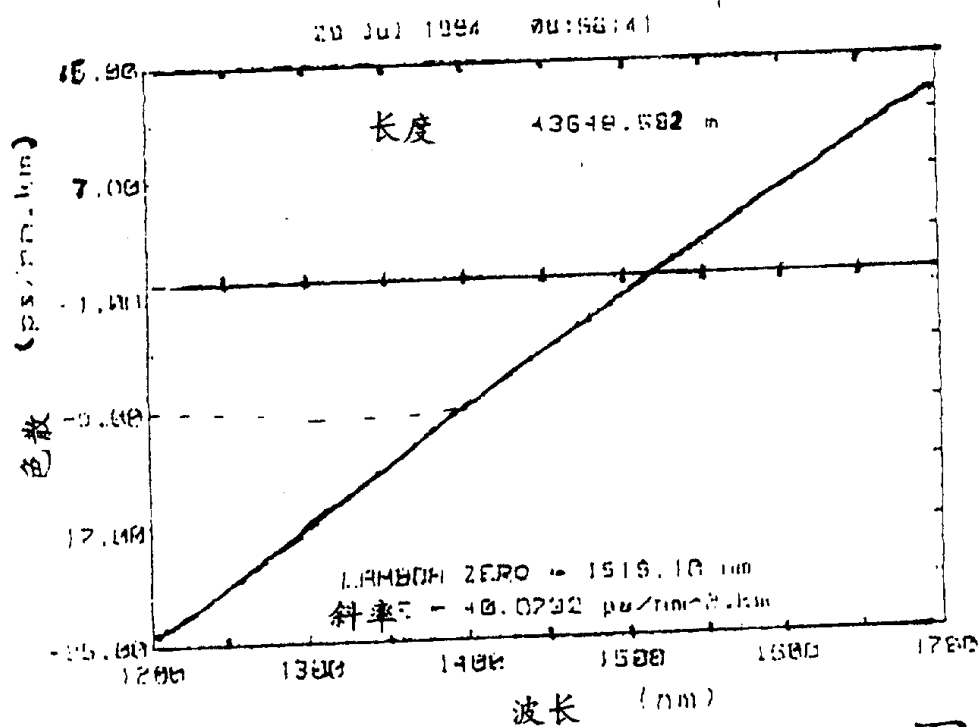


图 13

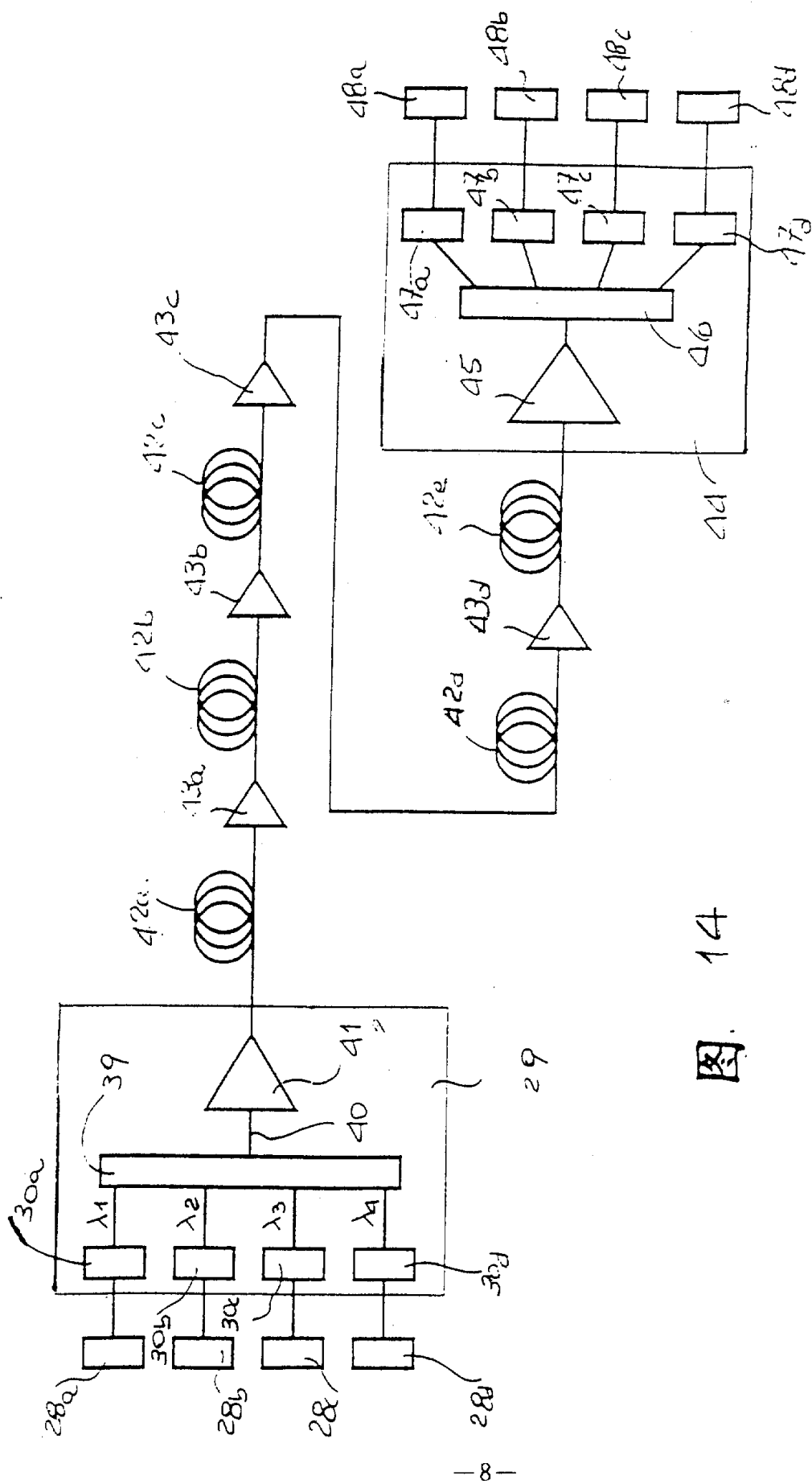


图 14

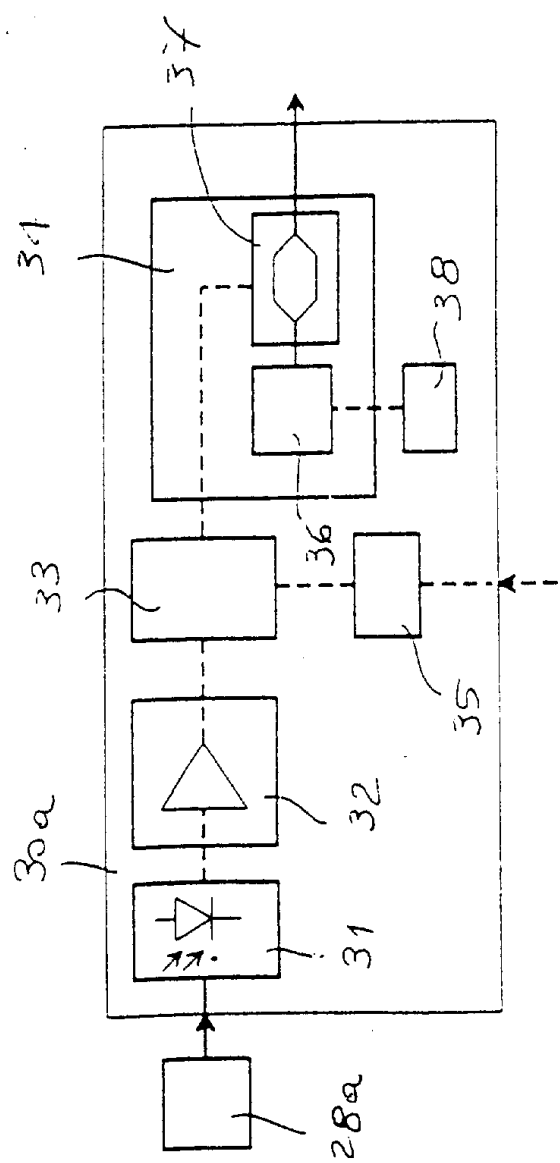


图 15

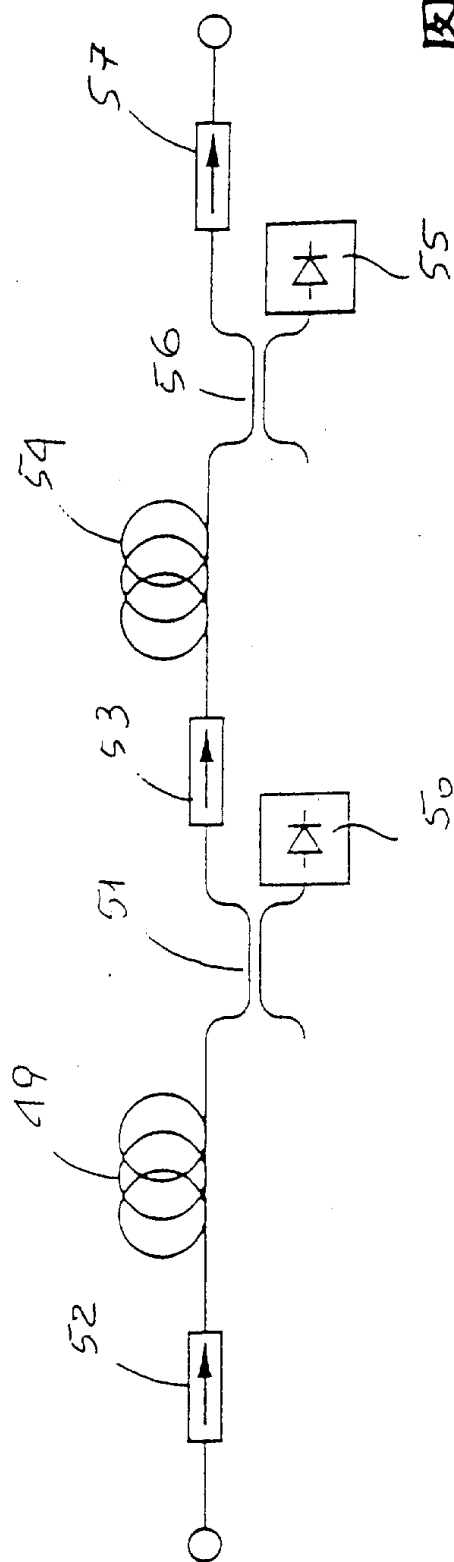


图 16