

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

H04J 14/00

[12] 发明专利申请公开说明书

H04J 14/02 H04B 10/16

H04B 10/17 H04B 10/18

[21] 申请号 99811195.3

[43] 公开日 2001 年 11 月 21 日

[11] 公开号 CN 1323475A

[22] 申请日 1999.9.21 [21] 申请号 99811195.3

[30] 优先权

[32] 1998.9.21 [33] US [31] 60/101,241

[86] 国际申请 PCT/US99/22009 1999.9.21

[87] 国际公布 WO00/18047 英 2000.3.30

[85] 进入国家阶段日期 2001.3.21

[71] 申请人 康宁股份有限公司

地址 美国纽约州

[72] 发明人 V·L·达席尔瓦

K·M·恩瑟 刘彦明 A·J·朱瑟罗

S·楚达

[74] 专利代理机构 上海专利商标事务所

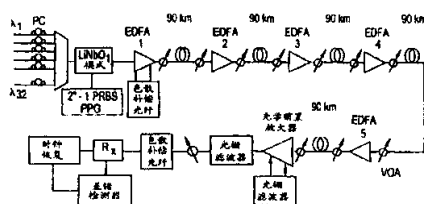
代理人 李 玲

权利要求书 3 页 说明书 6 页 附图页数 5 页

[54] 发明名称 波分复用系统

[57] 摘要

一种长距离、宽带宽的 DWDM 系统,通过适当选择总色散补偿的分布已经使其最佳化。在接收器和发射器两端上使用色散补偿。系统性能依赖于发射器与接收器之间的补偿分离的比率。即使当在宽带系统中在两个极端通道之间的总累积色散的扩散超过 1,100ps/nm 时,能够对在非线性区工作的系统进行补偿,以便工作时具有低 BER 和降低由残余色散效应引起的损失。



ISSN 1008-4274

权 利 要 求 书

1. 一种色散补偿的光学通信系统，其特征在于所述系统包括：

多通道激光器系统；

在输入端与所述激光器系统可操作地连接的多个跨距光纤，用于从其接收信号并具有一输出端，所述多个跨距光纤中的每一个具有串接的发射器端和接收器端；

多个光学放大器，每个光学放大器设置在所述跨度光纤中一个的输入端上；

施加于所述多个跨度光纤的所述输入端的前置传输色散补偿器；

施加于所述多个跨度光纤的所述输出端的后置传输色散补偿器；

预先选择由所述前置传输色散补偿器和所述后置传输色散补偿器提供的色散补偿比率，从而在系统中提供预定分布的色散补偿。

2. 如权利要求 1 所述的系统，其特征在于：所述系统包括具有长距离、宽带宽 DWDM 的密集波分复用 (DWDM) 系统。

3. 如权利要求 1 所述的系统，其特征在于：所述激光器被调制。

4. 如权利要求 3 所述的系统，其特征在于：所述系统在约 2.5 至约 40Gbit/s 的调制率下工作。

5. 如权利要求 1 所述的系统，其特征在于：所述激光器系统包括至少 16 个通道。

6. 如权利要求 1 所述的系统，其特征在于：前置传输与后置传输色散补偿的比率为总色散补偿值的 60/40%±10%。

7. 一种最佳化的色散补偿的密集波分复用 (DWDM) 系统，其特征在于所述系统包括：

多通道激光器系统；

与所述激光器可操作地连接的用于复用和调制所述激光器的装置；

与所述激光器可操作地连接的用于从其接收信号的多个跨距光纤，所述多个跨距光纤各具有发射器端和接收器端；

设置在所述光纤的每个跨距的输入端上的光学放大器；

施加于每个所述光纤跨距的所述发射器端和接收器端的色散补偿模块；以

及

与所述色散补偿模块相关联的用于分布色散补偿的选择装置，由此使所述 DWDM 系统最佳化。

8. 如权利要求 7 所述的最佳化的色散补偿的密集波分复用 (DWDM) 系统，其特征在于：所述系统包括长距离、宽带宽 DWDM。

9. 如权利要求 7 所述的最佳化的色散补偿的密集波分复用 (DWDM) 系统，其特征在于：所述激光器被调制。

10. 如权利要求 7 所述的最佳化的色散补偿的密集波分复用 (DWDM) 系统，其特征在于：所述系统在约 2.5 至约 40Gbit/s 的调制率下工作。

11. 如权利要求 7 所述的最佳化的色散补偿的密集波分复用 (DWDM) 系统，其特征在于：所述激光器系统包括至少 16 个通道。

12. 如权利要求 7 所述的最佳化的色散补偿的密集波分复用 (DWDM) 系统，其特征在于：所述选择装置包括模拟软件。

13. 如权利要求 7 所述的最佳化的色散补偿的密集波分复用 (DWDM) 系统，其特征在于：包括前置色散与后置色散的最佳色散补偿分离比率为总色散补偿值的 60/40%±10%。

14. 一种最佳化的色散补偿的密集波分复用 (DWDM) 系统，其特征在于所述系统包括：

具有至少一个通道的激光器系统；

与每个激光器可操作地连接的用于复用和调制每个激光器的装置；

与每个激光器可操作地连接的用于从其接收信号的多个跨距光纤，所述多个跨距光纤各具有发射器端和接收器端；

设置在所述光纤的每个跨距的输入端上的光学放大器；

施加于每个所述光纤系统的所述发射器端和接收器端的色散补偿模块；以

及

与所述色散补偿模块相关联的用于分布色散补偿的选择装置，由此使所述 DWDM 系统最佳化。

15. 如权利要求 14 所述的最佳化的色散补偿的密集波分复用 (DWDM) 系统，其特征在于：所述系统包括长距离、宽带宽 DWDM。

16. 如权利要求 14 所述的最佳化的色散补偿的密集波分复用 (DWDM) 系

统，其特征在于：所述激光器被调制。

17. 如权利要求 14 所述的最佳化的色散补偿的密集波分复用 (DWDM) 系统，其特征在于：所述系统在从约 2.5 至约 40Gbit/s 所选的调制率下工作。

18. 如权利要求 14 所述的最佳化的色散补偿的密集波分复用 (DWDM) 系统，其特征在于：所述激光器系统包括至少 16 个通道。

19. 如权利要求 14 所述的最佳化的色散补偿的密集波分复用 (DWDM) 系统，其特征在于：所述选择装置包括模拟软件。

20. 如权利要求 14 所述的最佳化的色散补偿的密集波分复用 (DWDM) 系统，其特征在于：包括前置色散与后置色散的最佳色散补偿分离比率为总色散补偿值的 60/40%±10%。

21. 一种最佳化的色散补偿的密集波分复用 (DWDM) 系统，其特征在于所述系统包括：

设置在栅格上的多通道激光器系统；

与每个激光器可操作地连接的便于对其复用和调制的装置；

与每个激光器可操作地连接的用于从其接收信号的多个跨距光纤，所述多个跨距光纤各具有发射器端和接收器端；

设置在所述多个跨距光纤的每一个的输入端上的光学放大器；

施加于每个所述光纤的所述发射器端和接收器端的色散补偿模块。

22. 如权利要求 21 所述的最佳化的色散补偿的密集波分复用 (DWDM) 系统，其特征在于：所述系统包括长距离、宽带宽 DWDM。

23. 如权利要求 21 所述的最佳化的色散补偿的密集波分复用 (DWDM) 系统，其特征在于：所述系统在从约 2.5 至约 40Gbit/s 所选的调制率下工作。

24. 一种最佳化的色散补偿的密集波分复用 (DWDM) 系统，其特征在于所述系统包括：

包括多通道激光器系统的栅格系统；

与每个激光器可操作地连接的便于对其复用和调制的装置；

与每个激光器可操作地连接的用于从其接收信号的多个跨距光纤，所述多个跨距光纤各具有发射器端和接收器端；

设置所述多个跨距光纤的每一个的输入端上的光学放大器；

施加于每个跨距光纤的所述发射器端和接收器端的色散补偿模块。

说明书

波分复用系统

5 本申请要求 1998 年 9 月 21 日提交的美国临时申请 60/101,241 的优先权，
该申请这里通过参考被全文引入。

发明领域

10 本发明涉及波分复用器(WDM)系统，尤其涉及密集 WDM(DWDM)，其中在接
收器和发射器两端都利用色散补偿，此外使 WDM 总体上最佳化。

发明背景

已经对光通信系统中线性分色的各种效应作了研究。具体地说，在波分复
用器的发射器端或接收器端采用色散补偿技术一直是令人感兴趣的。

15 本发明属于在密集 WDM 的接收器(RX)和发射器(TX)两端同时使用色散补
偿，以获得更好的性能。本发明提供使双色散补偿最佳化的技术，给出整个 WDM
及其相关网络的特性。

明显地影响 RX 和 TX 两端上色散补偿的最佳比率的一个因素是发射器的啁
啾值。其它因素包括功率电平、通道数目、通道平面、光纤色散和系统长度。

20 在 WDM 系统的 RX 和 TX 两端同时提供色散补偿能够产生比在单端上补偿更
强的结果。然而，对于特定系统而言，在 RX 和 TX 两端之间的色散(色散率)的
类型和分布必须平衡。如果不适当平衡，结果可能甚至比单端补偿的结果更
差。

25 通过试错法能够以实验方式调节色散补偿率，但是这种方法既麻烦又辛
苦。利用模拟方法能够更易于初始分析最佳化，模拟方法描述光波在光纤中的
传播。市场上可以提供能够进行这一分析的软件。分析能够模拟沿所有通道的
传播以及同时考虑有意义的非线性效应和色散效应。

Hayee M. I. 等人的题目为“10 Gb/s WDM 系统中色散和非线性度的前置补
偿和后置补偿”的文章(I. E. E. E 光电子学技术快报, 1997)教导双补偿给出色
30 散管理 WDM 系统中每个通道的最低损失，这里将这篇文章全文引作参考。另外，

这篇文章教导前置补偿和后置补偿的最佳量取决于 WDM 中所使用的特定色散图。Hayee 描述了一个仅有 8 个通道的稀疏系统，其功率和距离仅适合于低功率(1500 km)水下系统。与本发明不同，由 Hayee 设定的色散的前置补偿和后置补偿是分别确定的，不是以适合于系统的坐标方式确定的。

5

发明概要

按照本发明，提供一种用于补偿长距离宽带宽密集波分复用器(WDM 系统)中色散的方法和系统。按照本发明的典型长距离宽带宽 DWDM 利用 DFB(分布式反馈)激光器的系统，包括 ITU(国际电信联盟)线网上的 32 个通道。用额定零啁啾调制器以 10 GBit/s 对激光器进行复用和调制。把信号传送至较大有效孔径的光纤(如以康宁公司注册商标 LEAF®出售的光纤)5 个 90km 跨距的系统。光学放大器在每个跨距的输入端提供信号增益。可提供色散补偿模块的商用单元。将色散补偿模块施加在发射器和接收器两端。适当选择通过模拟确定并通过实验验证的总色散补偿的分布，使 DWDM 系统最佳化。

10 本发明的一个目的是提供一种用于补偿长距离宽带宽密集波分复用器(DWDM)中色散和非线性损失的改进方法和系统。

本发明的另一个目的是提供一种用于补偿长距离宽带宽 DWDM 中色散的改进方法和系统，其中在接收器和发射器两端都利用色散补偿，进一步地使 DWDM 整个最佳化。

20

附图简述

在结合以下详细描述考虑时，通过参考附图可以获得对本发明的全面理解，其中：

图 1 示出按照本发明的典型光纤系统的示意图。

25 图 2 示出由图 1 所示光纤系统获得的光谱的图解视图。

图 3 示出图 1 所示光纤系统的 Q 与波长的曲线图。

图 4 示出对于图 1 所示光纤系统的相同通道，与 FWM 光谱相比，Q 与通道数目的曲线图。

图 5a 示出完全组装系统(方块)的 Q 与波长的曲线图，以及传输光纤已经被衰减器替代而测得的 Q(圆)。

30

图 5b 示出光纤的损失(dB)与波长(nm)的关系曲线图。

较佳实施例的详细描述

通常说,本发明的特征是通过适当选择总色散补偿的分布已经实现最佳化的长距离、宽带宽 DWDM。在接收器和发射器两端都采用色散补偿。系统性能依赖于发射器与接收器之间补偿分割之比。即使当宽带系统中两端通道之间的总累积色散的扩散超过 1100 ps/nm,也能够把在非线性区工作的系统补偿到在低 BER 下工作,具有可容许的残留色散效应。

现在参考图 1,示意图示出了按照本发明的一个典型 DWDM 系统。该系统为长距离型,是为部署在陆上而设计的。系统使用在 ITU 线网上包括 32 个通道的 DFB 激光器。

在早先模拟中,设置在每个跨距输入端上的光学放大器的特征有 25dB 外部增益、20dBm 总功率输出(19 dBm 被传送到光纤跨距中)、5dB 平均噪声指数、以及 1.2dB 平均增益波动。色散补偿模块的商用单元是作为 DCM-X 提供的,这里 X 是通过色散补偿模块补偿的标准单模光纤色散的等效长度(千米)。DCM 模块被施加在发射器和接收器两端。以 DCM-10(0160 ps/nm)为阶梯从 DCM-20(-340 ps/nm)到 DCM-60(-986 ps/nm)在发射器和接收器上的补偿模块的比率的组合被积分以及它们的效应被记录。适当选择通过模拟确定并通过实验验证的总色散补偿的分布使 DWDM 系统最佳化。

以下所示的表给出系统的每种配置结构的最差通道的性能的综合。

表

前置补偿 DCM	后置补偿 DCM	BER 2	对于 4	选择 16	通道 31	33
20	30	<1E-13	<1E-13	3. E-11	5. E-10	4. E-10
20	40	9. E-13	9. E-12	<1E-13	2. E-12	1. E-12
30	20	<1E-13	<1E-13	<1E-13	<1E-13	<1E-13
30	30	<1E-13	<1E-13	<1E-13	<1E-13	<1E-13

注意一和三行具有相同的总补偿,对于二和四行同样是如此,而系统性能

显著不同地依赖于前置补偿和后置补偿值的比率。

在后一实验中,激光器与光纤耦合器复用并由 Li:NiO₃ 零啁啾马赫-伦德尔调制器用 2³¹-1、10Gbit/s 伪随机比特流 (PRBS) 调制。激光器与 ITU-T 额定中心频率格栅和 100GHz 最小通道间隔相匹配。第一通道波长为 $\lambda_1=1532.68\text{nm}$ (195.6THz), 最后通道波长为 $\lambda_{32}=1557.36\text{nm}$ (192.5THz)。放大之后, 信号在 450k 传输线上传输, 该传输线由 5×90km 跨距的 LEAF[®] 大有效孔径光纤和四个线中光学放大器构成。LEAF[®] 光纤的有效面积为 72-78 μm^2 , 这比典型 NZ-DSF 大约 50%。光纤 λ_0 在 1506nm 与 1514nm 之间变化, 色散斜率为 $\approx 0.1\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 。采用可变光学衰减器 (VOA), 在每个跨距中将总发射功率调节为 +19dBm, 这对应于约 +4dBm/通道的平均功率。

为了模拟实际系统所需的实际损耗边界, 在每个放大器之前增加光学衰减器, 使跨距损耗增加到 24dB。在光学前置放大器上具有 0.3nm 的 FWHM 的可调谐窄带光纤光栅滤波器选择待测量的通道。使用可变光学衰减器来保持功率基本上恒定进入 O-E 转换器。

图 2 示出在第一 VOA 之前的输入光谱和在光学放大器之前的输出光谱。对于所有通道采用相同的前置和后置补偿量。在系统输出端, 第一通道的总累积色散为 -454.78 ps/nm, 最后通道的为 +893.81 ps/nm。

通过测量位差错率作为每个通道的决定阈值的函数关系表征传输性能。系统 Q 是利用整个系统 (光纤+放大器) 估测的, 光纤跨距被具有等效损耗的衰减器替代。整个系统的测量的结果示于图 3 中。整个系统的平均 Q 约为 8.9 dB 光学 (BER=4.5×10⁻¹⁵), 整个带宽上具有小偏差。正如图 5a 所示, 最低 Q 对应于通道 27 (Q=8.6 dB, BER=2.2×10⁻¹³)。与不带光纤 (放大器+衰减器) 的结果相比, 这些结果表明平均光纤引发损失 0.9 dB, 通道 12 的损失最大 1.3 dB, 正如图 5b 所示。

然而, 1550nm 附近的通道并未显示这一相关性, 可能已经受非线性作用的影响。通过将发射到所有光纤跨距中的总功率降低到 +17.5dBm, 同时保持 OSNR 恒定, 可观察到光学 Q 中 0.1 至 0.5dB 的改善。这一改善实验演示, 光纤将非线性损害有效地限制到小的值。

四波混合 (FWM)、正交相位调制 (XPM) 和自身相位调制 (SPM) 通常是密集 WDM 系统中的主要非线性损失。为了定量表示 FWM 损失的效果, 在波段上逐个关闭

每个通道，对通过相邻通道产生的 FWM 积作测量。正如图 4 所示。最强的 FWM 积是在低于信号功率电平 30 多个 dB 处测量的，这太低以致于对系统没有任何明显影响。由于 FWM 串话与 Q 测量值之间不相关的这一事实，可以得出结论，损失来自于 XPM 和 SPM 的线性色散和非线性色散的组合。

5 用这一系统能够实现所有通道的测得 Q 因子大于 8.6dB ($BER \approx 2.2 \times 10^{-13}$)，最大光纤引发损失 1.3dB。用单个色散补偿模块设计能够使 32 通道系统最佳化，信号波段没有分离，通道平面上的与色散相关的系统损失的偏差可忽略不计。

10 密集 WDM 以管理由光学非线性度引起的损失的成本能够极大地增加传输能力。当使用大于或等于 10Gbit/s/通道的比特率时，使用非色散漂移光纤的系统必须在逐个跨距基础上使用色散补偿。

非零色散漂移光纤 (NZ-DSF) 的使用降低了对色散补偿的需要。通过使光纤色散最佳化，在 360km 上以 10Gb/s 能够实现无补偿的 WDM 传输。对于更长的距离通常使用色散管理。

15 在建立分离色散补偿模块比率技术的研究中，利用蓝 (1530nm-1540nm) 和红 (1548nm-1562nm) 波段传输进行了实验。对于掺铒光纤放大器 (EDFA) 增益波段的蓝 (1530 nm-1540 nm) 和红 (1540 nm-1560) 两个波长区，在 10Gbit/s 下观察了无差错传输；仅需要前置和后置色散补偿。红色波段实验利用从 1549.3 nm 至 1560.6 nm 范围的 8 个均匀间隔 (200 GHz) 通道，而蓝色波段实验使用从 20 1531.9nm 到 1536.6nm 范围的 4 个通道，具有 200 GHz 通道间隔。激光器与光纤耦合器相组合并由马赫-伦德尔 Li:NiO₃ 调制器用 $2^{31}-1$ 、10Gbit/s 伪随机比特流调制。

放大之后，信号在 450km 传输线上传输，该传输线由 5 个跨距的 90kmLEAF[®] 光纤和 4 个线中光学放大器构成。每个放大器的总输出功率，对于红色波段实 25 验被调节为 16dBm，对于蓝色波段实验调节为 13dBm，这对应于 7dBm/通道的平均功率。

为了模拟现场部署系统的老化的一个方面，在每个放大器之前通过增加光学衰减器使跨距损耗增加到 24dB。在光学前置放大器处 FWHM 为 0.3nm 的标准具滤波器选择待测量的通道。

30 对于两个实验使用少量色散补偿。对于红色波段，把在 1550nm 处总色散

为 688ps/nm 的第一色散单元放置在调制器后，把第二色散单元放置在光学前置放大器之后。对于蓝色波段实验，需要很少色散补偿。把 344 ps/nm 的单元放置在前置放大器之后。在两个实验中，被耦合到色散补偿器中的每通道功率保持低于 0dBm，以避免非线性效应。

- 5 对于红色波段实验，需要光学预先强调，以均衡传输末端处的接收光学信噪比。在红色和蓝色两个实验中未观察四波混合(FWM)。

对通道 1 所发现的负损失表示在自身/正交调制与色散之间的最佳平衡。其它通道的损失是由色散的欠补偿造成的。

- 10 当跨距损害被调节到 24dB 时，在红色和蓝色两个实验中对于所有通道都观察到无差错传输。对于红色，这对应于通道 1 的接收功率为 -21.9dBm，通道 8 的接收功率为 15.1dBm。换句话说，需要更大的功率（14 至 19dBm）以获得 10^{-9} 的比特差错率。对于蓝色，灵敏度在 -34.5dBm 与 -34.0dBm 之间变化。这等效于功率损失 0.5 至 1.0dB。

- 15 从可忽略不计的小可观察 FWM 光谱乘积，显然大有效孔径光纤有效地抑制密集 WDM 系统中的 FWM。此外，由于其大的有效面积和小的色散，这一光纤允许在终端上利用色散补偿在 10Gbit/s 下使自身和正交相位调制损失最小化。这消除了电缆中或每个放大器上需要色散管理。

- 20 由于对于本领域专业技术人员而言，为拟合特定操作要求和环境所作的其他改进和变化是显而易见的，本发明不认为局限于公开目的所选的例子，而是覆盖不构成偏离本发明精神和范围的所有变化和改进。具体地，本发明属于并可应用于在 L 波段（1568-1615nm）和 S 波段（1475-1505nm）中工作的 WDM 系统。

这里已经描述了本发明，在接下来所附的权利要求书中给出了本专利申请所要求保护的。

说明书附图

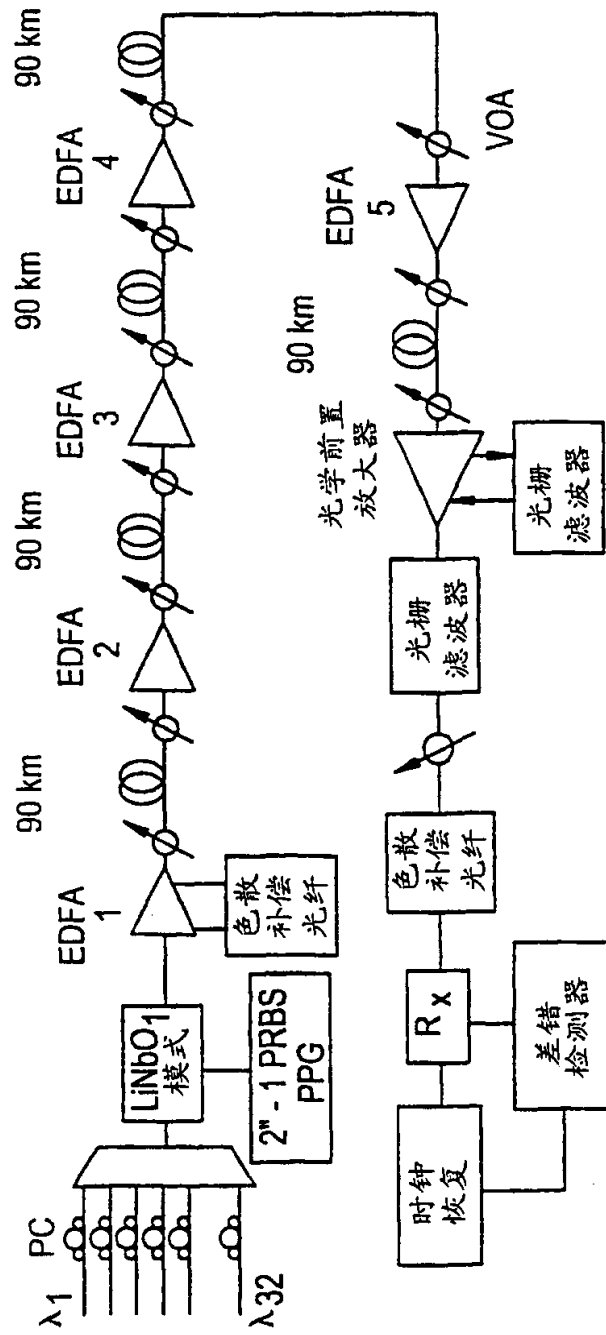


图 1

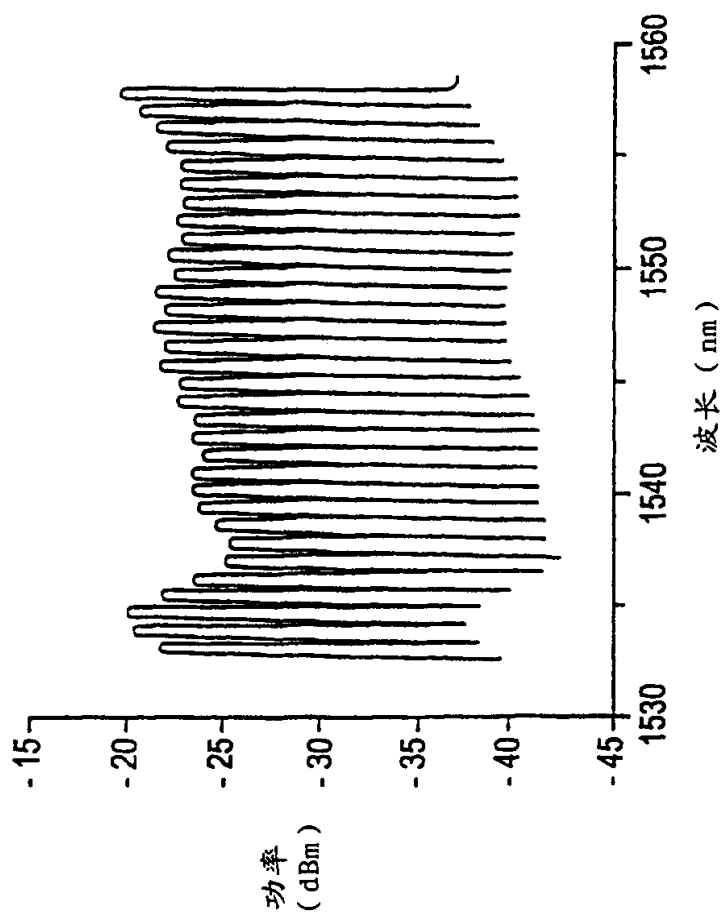


图 2A

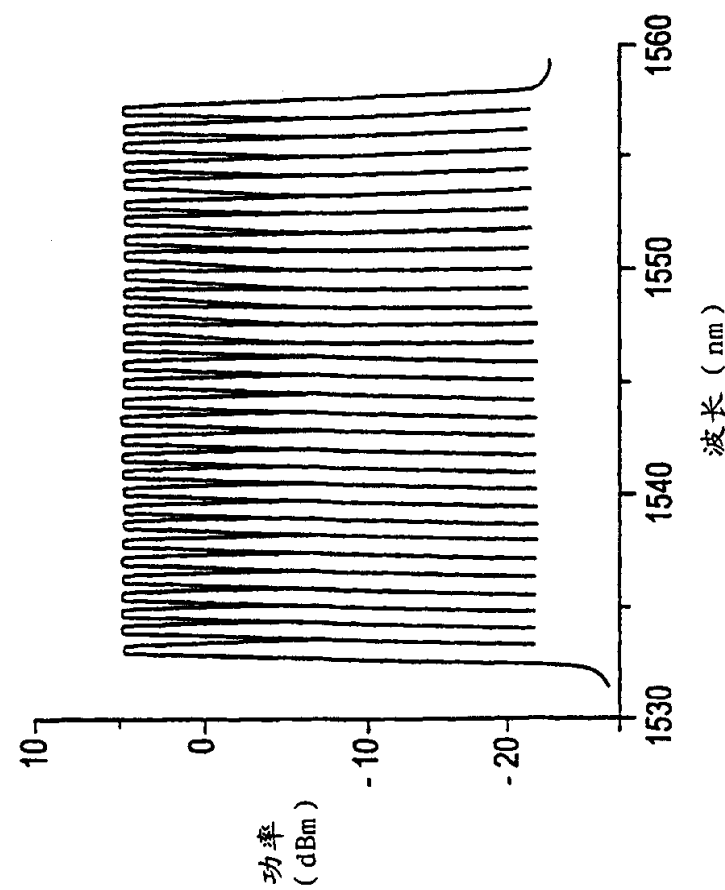


图 2B

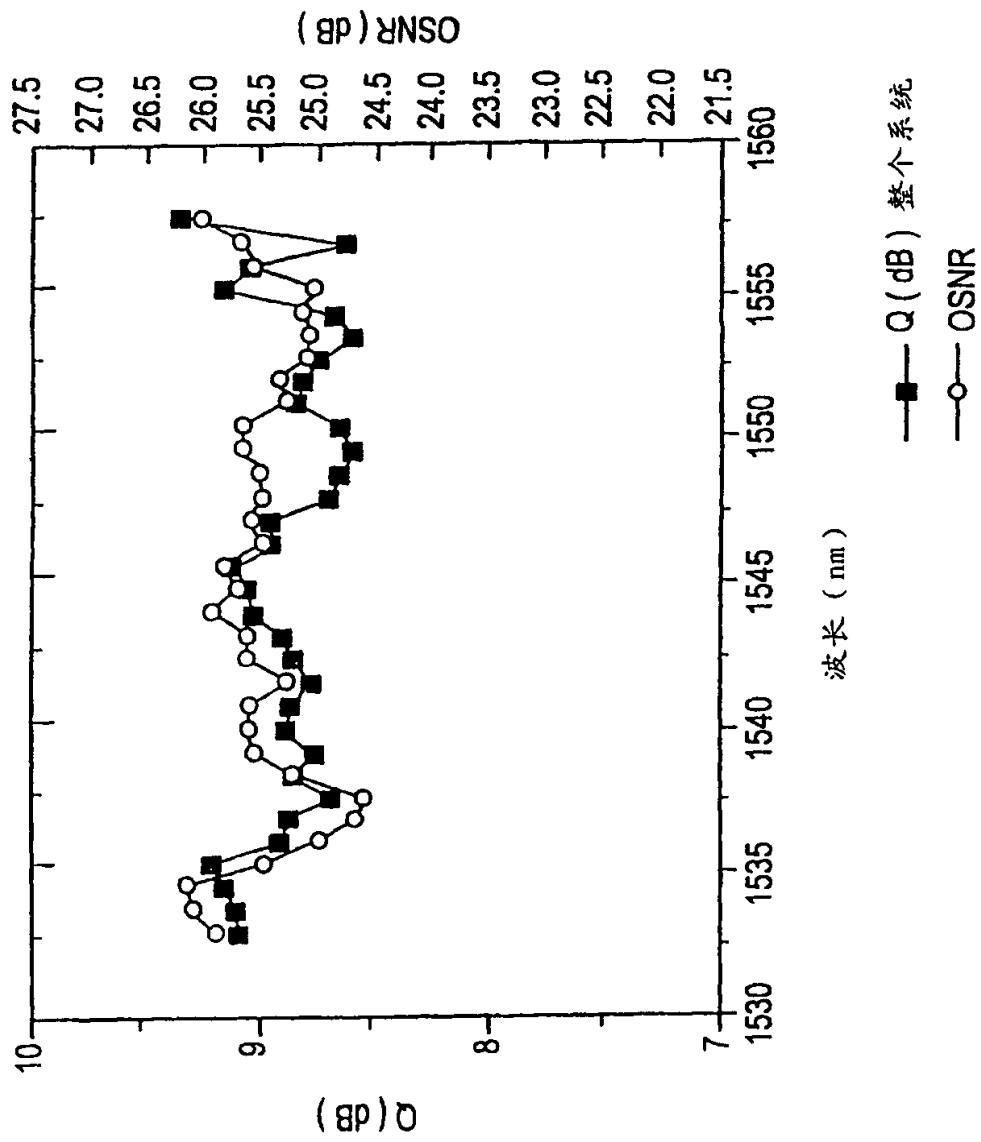
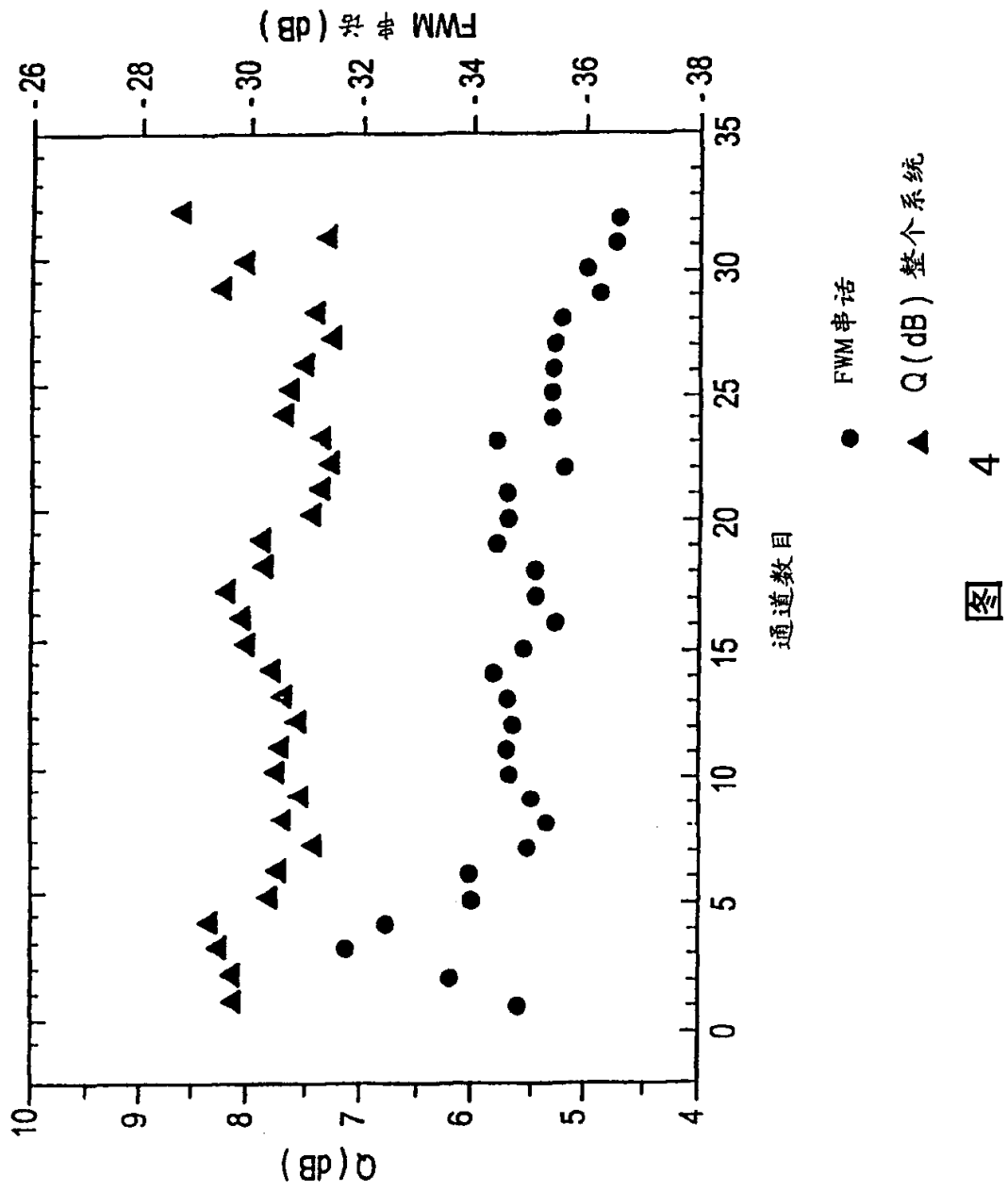


图 3



图

4

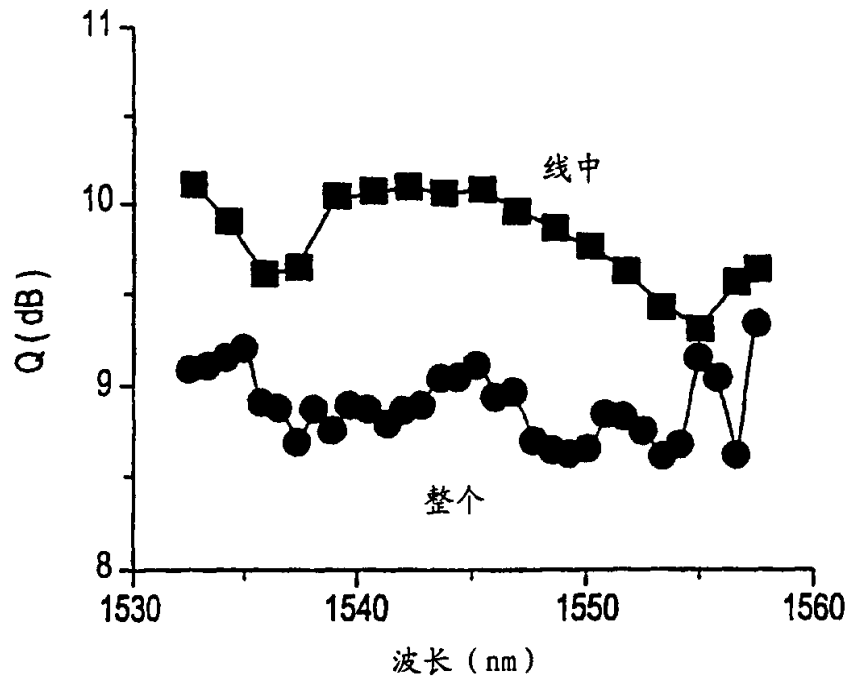


图 5A

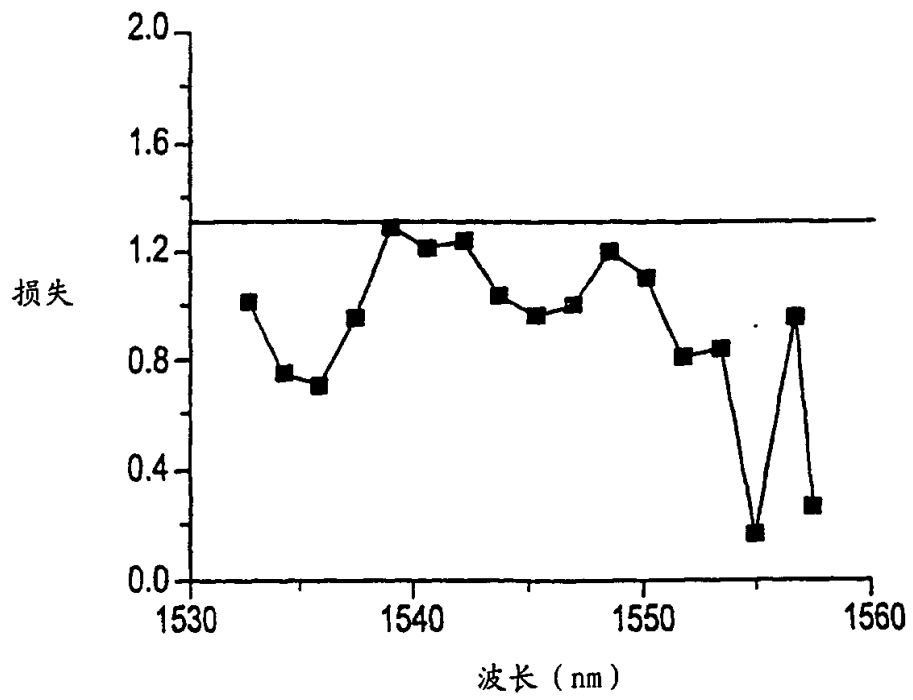


图 5B