

[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int. Cl⁷

G01N 21/84

G01N 21/88

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 98807485.0

[43]公开日 2000 年 8 月 30 日

[11]公开号 CN 1265193A

[22]申请日 1998.8.14 [21]申请号 98807485.0

[30]优先权

[32]1997.8.18 [33]US [31]60/055,677

[86]国际申请 PCT/US98/16920 1998.8.14

[87]国际公布 WO99/09397 英 1999.2.25

[85]进入国家阶段日期 2000.2.14

[71]申请人 康宁股份有限公司

地址 美国纽约州

[72]发明人 L·L·哈斯金斯

A·L·范德沃特

[74]专利代理机构 上海专利商标事务所

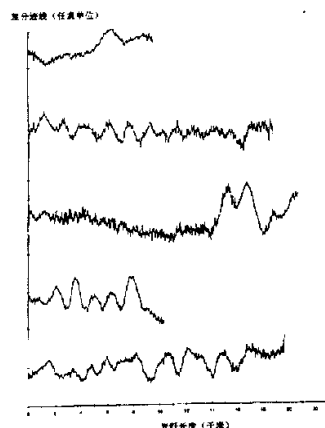
代理人 钱慰民

权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图页数 6 页

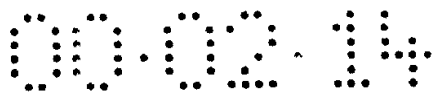
[54]发明名称 呈现高偏振模色散(PMD)之光纤的识别方法

[57]摘要

提供了用于识别呈现高偏振模色散(PMD)之光纤的方法。识别方法利用由光时域反射计(OTDR)测量获得的差分迹线。发现差分迹线中存在周期性图形,表示光纤具有高 PMD。



ISSN 1008-4274



权 利 要 求 书

1. 一种用于检测光纤中高偏振模色散的方法，其特征在于，所述方法包括以下步骤：

- a) 用光时域反射计 (OTDR) 对光纤第一端施加光；
- b) 检测从光纤反射回 OTDR 的光，并且产生第一组值，所述第一组值包括被检测反射光的振幅，它是沿光纤长度距光纤第一端之距离的函数；
- c) 用 OTDR 对光纤第二端施加光；
- d) 检测从光纤反射回 OTDR 的光，并且产生第二组值，所述第二组值包括被检测反射光的振幅，它是沿光纤长度距光纤第二端之距离的函数；
- e) 由第一和第二组值形成第三组值，所述第三组值表示光纤模场直径沿其长度的变化；和
- f) 检测至少具有一个预定特征的周期性图形，它是所述第三组值中沿光纤长度的距离的函数，出现所述周期性图形表示 PMD 程度较高。

2. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，在步骤 (e) 中，通过在第一组值和第二组值之间取差值，形成所述第三组值。

3. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，第三组值构成模场直径值，它们是由第一组值与第二组值之间的差值获得的。

4. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，步骤 (f) 包括：

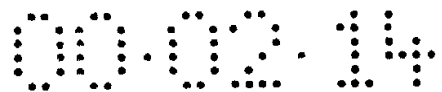
- i) 平滑第三组值；
- ii) 将经平滑的第三组值转换成斜率值；以及
- iii) 对斜率值中的周期次数计数。

5. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述至少一个预定特征选自以下的组：第三组值的循环周期、第三组值的最大斜率值、第三组值的最小斜率值、第三组值的峰到峰的最大偏差，以及其中两个或多个特征的组合。

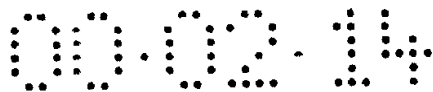
6. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述至少一个预定特征是第三组值的循环周期。

7. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，对从单个毛坯上拉丝得到的 2 根或多根个别光纤段进行步骤 (a) — (e)。

8. 如权利要求 8 所述的方法，其特征在于，将所述每根个别光纤段的



所述第一组值、所述第二组值和所述第三组值连续起来，形成第四组值，表示光纤模场直径沿其整个长度的变化。



说明书

呈现高偏振模色散之光纤的识别方法

发明领域

本发明涉及光纤，尤其涉及呈现高偏振模色散（PMD）之光纤的识别方法。

发明背景

PMD 是设计目前技术水平下光纤传输系统的重要因素。一个数字脉冲在网络中传播足够长的距离后，它会在时域中扩散，并且变得不能与附近的脉冲相区别，这时光纤系统中的 PMD 效应很明显的。PMD 引起的脉冲扩散会将误差引入数据传播，从而有效地限制脉冲的传播速率，或者串接光纤媒体的最长距离。

因此，光纤制造商感兴趣的是提供 PMD 较小的光纤，尤其是把高数据率、远距离传输系统定为目标的产品。不幸的是，直接测量 PMD 化费很大。因此，需要一种易于使用，对 PMD 较高的光纤进行间接识别的方法，由于这种方法可以为 PMD 较低的光纤降低测量（质量控制）成本，以致于降低总的造价，所以对工业很有价值。

已使用光时域反射计（OTDR）测量光纤的各种性能。OTDR 的工作方式是沿光纤发送短脉冲激光，并且观察向光源散射回来的小部分光。典型的脉宽范围是从 0.5 米（5 纳秒）到 2000 米（20 微秒）。

实践中，测试光纤通过一根相对较短的光纤（例如，1 公里长的光纤）与 OTDR 相连，在本领域中将所述相对较短的光纤称为“尾纤”。尾纤可以缩小光纤起点处的盲区（非线性区），OTDR 在盲区中不能提供可靠的信息。为了进一步改善性能，可以在尾纤和光纤之间的连接处使用折射率匹配油。

图 1 示出了典型的 OTDR 迹线（trace），图中 y 轴表示返回功率，以 dB 为单位，x 轴表示沿光纤的距离。迹线上的各种特征是用标号 1 至 9 来识别的，其中标号 1 表示在 OTDR 和尾纤之间接点处发生的反射，标号 2 表示从尾纤获得的迹线，标号 3 表示尾纤的最后一点以及测试光纤的第一点，标号



4 表示由尾纤和测试光纤之间的接点产生的反射和相关的盲区，标号 5 表示靠近盲区末端之后的第一点，在该点（“光纤起点”）可以可靠地检查迹线信息，标号 6 表示光纤起点与光纤自然终点（光纤终点）之间的光纤迹线，标号 7 表示光纤终点，标号 8 表示在光纤终点处产生的反射，以及标号 9 表示 OTDR 迹线的固有噪声级。

文献中已出现一些关于 OTDR 迹线中存在周期性图形的报告。因此，“光子动力学”的作者 Casey Shaar 在 1995 年 1 月 24 日举办的 TIA6.6.5 标准会议上提交了一份题为“光纤颠簸效应”的报告。该报告描述了 OTDR 迹线中存在波纹状的图形。波纹被认为是由偏振效应或 OTDR 光源光谱引起的。

该报告所述的波纹与本发明的不同，因为其中波纹的周期比本发明周期性图形的周期小得多（例如，200—300 米对 2—3 千米）；随波长的变化（例如，从 1310 纳米到 1550 纳米），波纹有更大的可变性；并且当从光纤不同端观察时，波纹变化明显。另外，此参考文献中的波纹在原始 OTDR 迹线中有某一“特征”（循环周期、幅值、形状），而在模场直径（MFD）迹线中有不同的特征（波纹可以相长地或相消地相加）。相反，本发明原始 OTDR 迹线中的循环在 MFD 迹线中同相合并，增加了循环的振幅，但循环周期和形状不变。

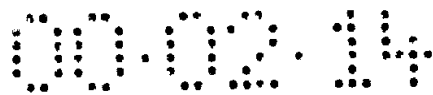
授予 Garnham 的美国专利第 5,518,516 号描述了 OTDR 迹线中波纹，该波纹被认为是由预制棒安装过程中引入的螺旋脊造成的。该专利描述了一种据说可以消除这种波纹的预制棒制备过程。Garnham 描述的波纹一般在整个毛坯上延伸，而作为本发明主题的波纹一般在毛坯的不同部分开始和结束。实际上，已发现 Garnham 描述的波纹类型与高 PMD 无关。

关于本发明，重要的是注意“光子动力学”论文和 Garnham 专利都未建议可以用 OTDR 或 MRD 迹线中的波纹识别呈现高 PMD 的光纤。

发明内容

鉴于上述内容，本发明的目的是提供一种用于识别呈现高 PMD 之光纤的改进型方法。尤其是，本发明的目的是提供一种易于使用、对这类光纤的间接识别方法。

为了达到这些和其它目的，本发明提供了一种用于检测光纤中高偏振模色散的方法，该方法包括以下步骤：



- a) 用光时域反射计 (OTDR) 对光纤第一端施加光;
- b) 检测从光纤反射回 OTDR 的光, 并且产生第一组值, 第一组值包括被检测反射光的振幅, 它是沿光纤长度距光纤第一端之距离的函数;
- c) 用 OTDR 对光纤第二端施加光 (这里的 OTDR 可以与步骤 (a) 使用的 OTDR 相同或不同);
- d) 检测从光纤反射回 OTDR 的光, 并且产生第二组值, 第二组值包括被检测反射光的振幅, 它是沿光纤长度距光纤第二端之距离的函数;
- e) 由第一和第二组值形成第三组值, 第三组值表示光纤模场直径沿其长度的变化; 和
- f) 检测至少具有一个预定特征的周期性图形, 它是第三组值中沿光纤长度的距离的函数, 出现周期性图形表示 PMD 程度较高。

附图概述

图 1 示出了由 OTDR 产生的典型的背向散射迹线。

图 2 和 3 是差分迹线, 分别表示具有低 PMD 和高 PMD 的光纤。

图 4 示出了对具有高 PMD 之光纤的差分迹线的周期特性进行量化的过程。图 4D 和 4E 中的实线分别表示 y_{t_j} 值, 图 4D 中的虚线表示 y_{m_j} 值, 而图 4E 中的虚线表示 $prev_j$ 值, 所有这些量在下文中定义。

上述附图包含在说明书中, 并构成说明书的一部分, 它们显示了本发明的较佳实施例, 并且与文字描述一起解释发明原理。当然应该理解, 附图和文字描述对发明都只是说明性的, 而非限制性的。

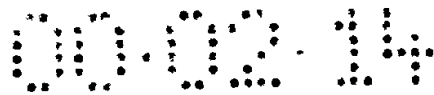
较佳实施例的描述

以下是应用于本发明较佳实施例的术语和一般过程:

(1) 背向散射迹线: 背向功率对数曲线, 其中背向功率是 OTDR 从光纤的一端测量得到的。这是一条通常可以观察到的曲线。可以将上述第一和第二组值画成背向散射迹线。

(2) 褐色端/绿色端 (Brown end/Green end): 进行 OTDR 单向测量的特定端。绿色端/褐色端对应于上述以及权利要求书中的第一端/第二端。

(3) 双向反转: 将从褐色端测量得到的观察进行位置和数值反转, 以便与从绿色端得到的观察对准。位置反转要求识别现行光纤的起点和终点,



消除尾纤和终点反射，并且对褐色端观察加一偏移值。用尾纤接合处以及光纤终点处的反射进行终点识别。用具有反射型不连续性的光纤校正 OTDR 迹线。在获得用来识别高 PMD 光纤的第三组值时，进行双向反转。

(4) 差分迹线：在褐色端迹线已被双向反转后，褐色端迹线和绿色端迹线之间的差。如果只在方向上反转褐色端迹线，数值上不反转，那么仅仅通过增加褐色端迹线和绿色端迹线就可以获得差分迹线。差分迹线构成第三组值的较佳形式。

(5) MFD 变化曲线：如果需要，可以用以下等式将差分迹线转换成 MFD 变化曲线：

$$\text{MFD}(x) = \text{MFD}(0) \cdot 10^{(y(x)/20)}$$

其中 x 是沿光纤的距离， $\text{MFD}(0)$ 是模场直径在光纤终点 ($x=0$) 处的测量值，而 $y(x)$ 是差分迹线。如果需要，可以将 MFD 变化曲线用作第三组值。

根据本发明，已发现具有高 PMD 的光纤在其差分迹线中呈现周期性图形。图 2 和 3 示出了该效果，其中图 2 示出了五根具有低 PMD 之光纤的差分迹线，而图 3 示出了五根具有高 PMD 的光纤。比较这些示图可以清楚地发现 PMD 较高的光纤具有周期性图形。

最好根据图 4 所示的过程对周期性图形进行量化，具体地说，即确定周期性图形的周期。

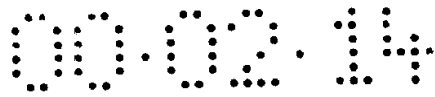
图 4A 示出了最初的原始数据，具体地说，它是由 OTDR 测量获得的差分迹线。该图中的原始数据包括 1238 个差分迹线值 (0...最后)，沿光纤长度，数据点之间的间隔 (δ) 对应于 0.0102 千米。

作为量化过程的第一步，例如最好用 9 抽头矩形波串滤波器对原始数据进行平滑，以便降低噪声。图 4B 示出了对图 4A 迹线应用这种滤波器后的结果。

然后，由平滑数据获得斜率数据。用于确定斜率值 (“ y_m ” 值) 的合适“窗口”例如为 100 个数据点，即对于 $\delta=0.0102$ 千米，窗口大约为 1 千米。

然后，用一阈值对图 4C 的斜率数据进行半周期计数，以便识别从一个半周期到下一个半周期的过渡。图 4D 示出了对图 4C 数据应用下述等式从而在过渡处获得第一切割 (cut) 的结果，其中阈值 (“ thresh ”) 选为 0.02 dB/km:

$$y_{t_j} = \text{如果}[y_{m_j} \geq \text{thresh}, \text{thresh}, (\text{如果}(y_{m_j} \leq -\text{thresh}, -\text{thresh}, 0))]$$



其中对于形式“如果（判据，a，b）”，如果满足“判据”，那么取“a”值，否则取“b”值。

为了确定过渡识别的最后形式，对图 4D 的数据应用下述等式，以便产生图 4E 的数据：

$$\text{prev}_0=0$$

$$j_2=1\ldots\text{last}-\text{窗口}+1$$

$$\text{prev}_{j_2}=\text{如果}(\text{yt}_{j_2}=\text{thresh}, \text{thersh}, 0)$$

$$\text{prev}_{j_2}=\text{如果}(\text{yt}_{j_2}=-\text{thresh}, -\text{thersh}, \text{prev}_{j_2})$$

$$\text{prev}_{j_2}=\text{如果}(\text{yt}_{j_2}=0, \text{prev}_{j_2-1}, \text{prev}_{j_2})。$$

用以下过程很容易对图 4E 的数据进行半周期计数，其中变量“level”等于半周期的数目：

$$j_3=1\ldots\text{last}-\text{窗口}$$

$$\text{count}_{j_3}=\text{如果}(\text{prev}_{j_3} \cdot \text{prev}_{j_3+1}=\text{thresh}^2, 1, 0)$$

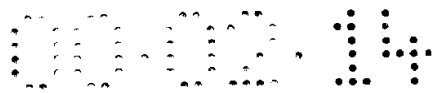
$$\text{level}=\sum_{j_3} \text{count}_{j_3}$$

$$\text{level}=\text{如果}(\text{level} \geq 1, \text{level}+1, \text{level})。$$

对于图 4E 的数据，此过程计得 7 个半周期（level=7）。作为量化的最后步骤，如下用数据点的数目（“last”值）、数据点之间的间隔（“δ”值）以及半周期的个数（“level”值）计算差分迹线周期性变化的周期：

$$\text{周期}=2 \cdot \text{last} \cdot \delta / \text{level}$$

对于图 4 的数据，计算得到的周期为 3.605 千米。



当然，用来制备图 4 的特殊“窗口”和“阈值”只是说明性的。一般来说，可以用本领域已知的各种量化过程（非图 4 所示的量化过程）来对差分迹线的周期性行为进行分析。例如，可以检查斜率值（例如， $|y_m|$ 值），并应用阈值（“斜率阈值”），从而确定差分迹线中存在足够多的变化。还可以检查 MFD 值，并且建立最小的 MFD 差值（即，光纤 MFD 最大值与其 MFD 最小值之间的差），作为分析周期性行为的先决条件。

然后，对周期性图形所进行的量化可以用来建立质量控制过程，用于识别具有高 PMD 的光纤。可以用于此目的的参数是周期性图形的周期、图形的最大斜率、图形的最小斜率以及图形中峰到峰的最大偏差。综合这些参数可以识别不合格的产品。

例如，已发现以下判据适于从具有可接受 PMD 的光纤（例如，光纤具有图 2 所示的差分迹线）中区分出具有不可接受 PMD 的光纤（例如，光纤具有图 3 所示的差分迹线）：如果图 4 过程用阈值 0.02 dB/km 确定的周期在 1.5 千米—10 千米范围内，那么拒绝该光纤。在应用此判据时，首先确定光纤的 $|y_m|$ 值大于 0.025 dB/km，并且 MFD 差值至少为 0.04 微米。

当然，本领域的熟练技术人员可以根据这里的揭示内容为特殊光纤建立其它的量化判据。一般来说，通过以下方式建立这类判据，即测量各种光纤的 PMD 值，测量用于这些光纤之差分迹线的量化判据，并且使 PMD 值与量化判据关联。

如上所述，数据取自一根相对较短的光纤（例如，大约 1 千米）。通常在将光纤绕于相对小的运输线轴上之后，对光纤进行这种测量。缠绕可以取自较大体积的线轴或者直接取自拉丝设备。在某些情况下，循环周期可以很大，以致于在较短的光纤中不明显。在这种情况下，用于产生 MFD 迹线的数据必须取自从整个玻璃毛坯上拉丝得到的较长光纤，然后根据此数据进行周期性判断。

作如此测量的一种方法是用 OTDR 单独测量来自单个毛坯的每小卷光纤，并为每卷光纤生成 MFD 迹线。在用这种方法测量了整个毛坯后，在脱机计算机上对来自每卷光纤的数据进行附加处理，以便串接数据，产生表示整个毛坯之单个 MFD 迹线的第四组值。对此毛坯总图和毛坯区域进行周期性判断，它可以是几卷光纤，可以识别出其包含周期性行为。

应该注意，周期性图形不可能总是明确地预告 PMD 参数。例如，有些

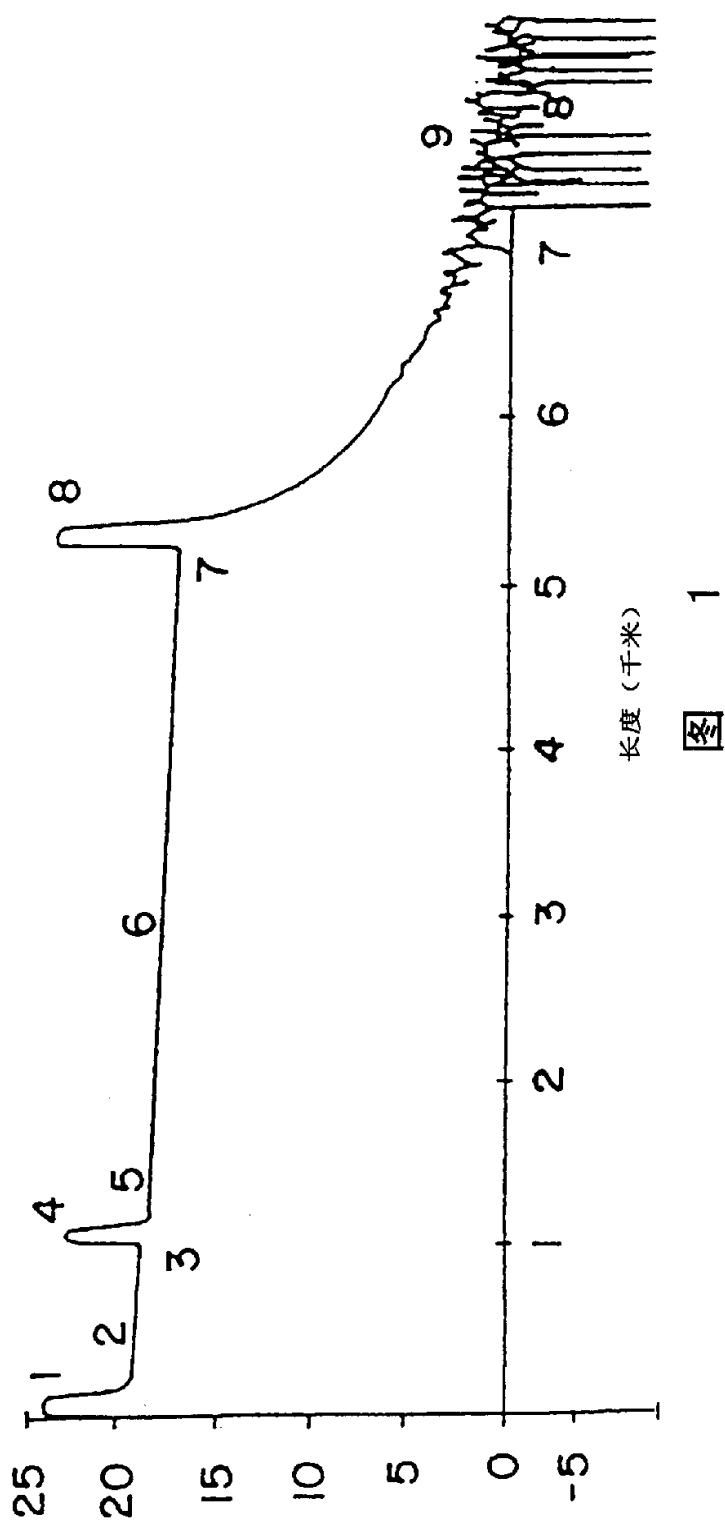


光纤表现出周期性，但具有较低的 PMD 值。例如，上述 Garnham 专利中讨论的波纹类型会导致光纤具有周期性图形，但它没有高 PMD。尽管不希望被任何特定的工作理论所束缚，但相信这会依赖于产品类型和制造设备（例如，一些炉子相比其它炉子在周期性迹线和高 PMD 之间具有更好的相关性）。另外，本领域不知道导致高 PMD 所有情况的根本原因。这些原因中有些可能与差分迹线均匀性（MFD 迹线均匀性）无关，因此不可能通过搜索这类迹线中的周期性图形来识别。这里揭示的内容允许本领域的熟练技术人员识别周期性图形预言了和没有预言 PMD 程度的那些情况。

这里描述的数学运算可以用各种计算机和软件来实现。例如，可以用市场上买得到的 MATHCAD 程序（由 Massachusetts 州 Cambridge 市的 MathSoft 股份有限公司制作）和一台个人计算机来完成这些运算，其中个人计算机被构造成根据程序制造商的规定运算程序。

尽管这里描述了本发明的较佳和其它实施例，本领域的熟练技术人员不脱离由以下权利要求书限定的发明范围，可以获得其它实施例。

说明书附图



差分迹线（任意单位）

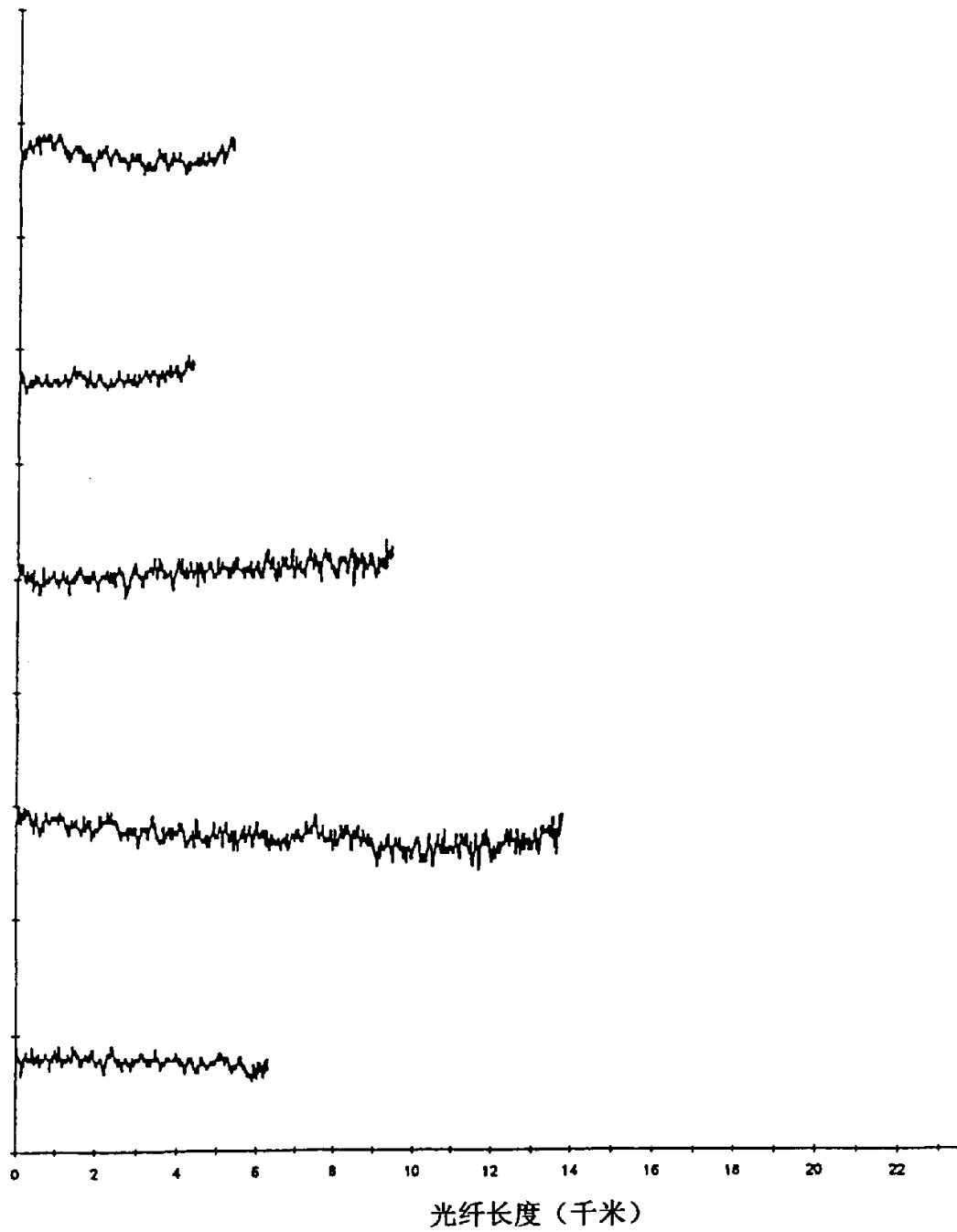


图 2

00-03-14

差分迹线 (任意单位)

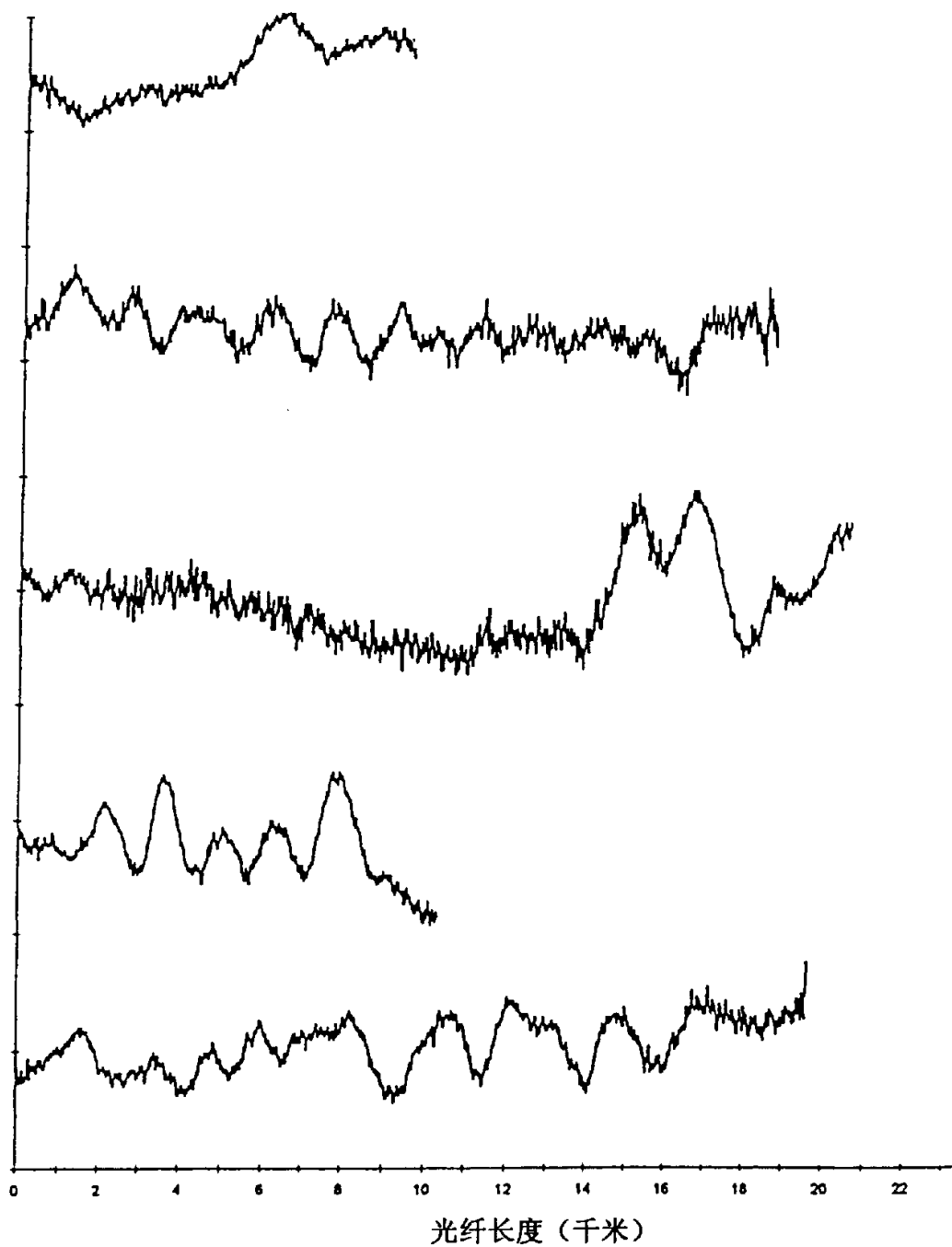


图 3

原始差分迹线

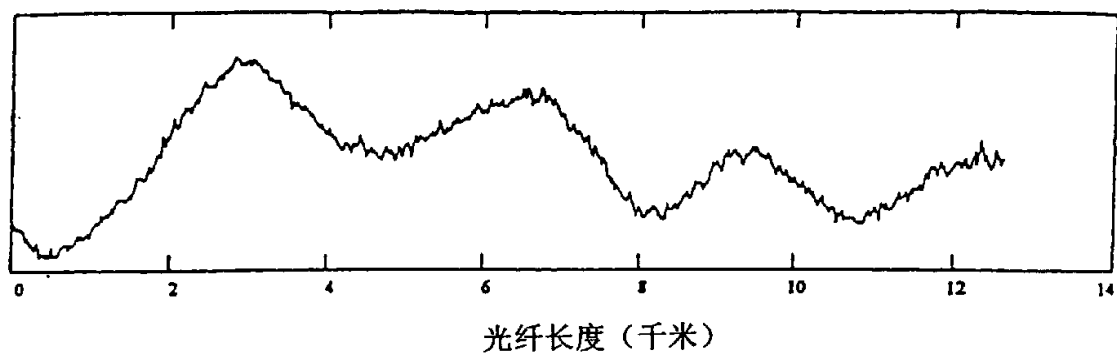


图 4A

经平滑的差分迹线

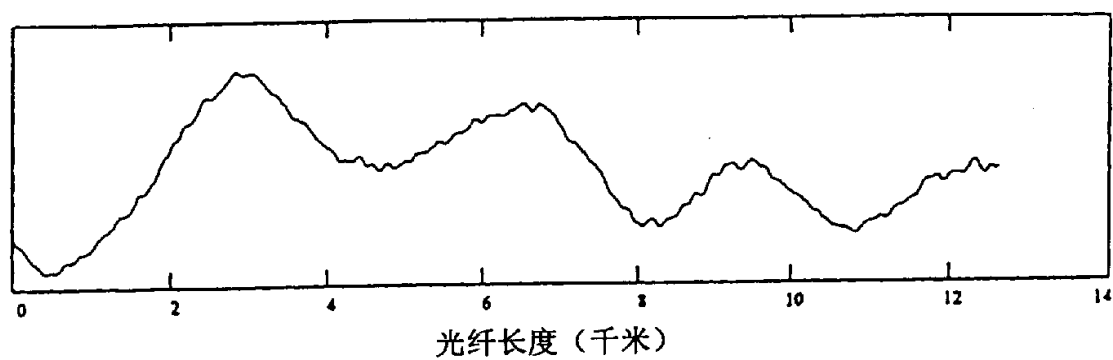


图 4B

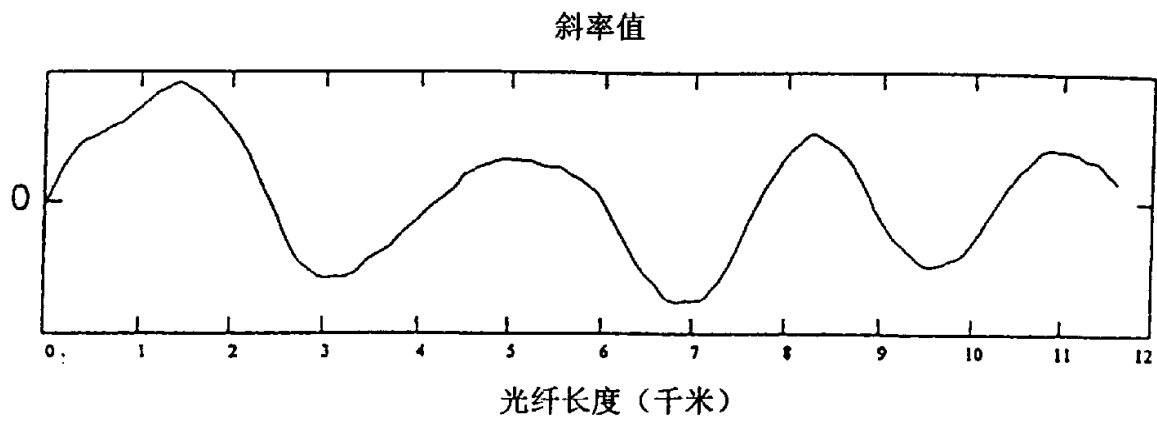


图 4C

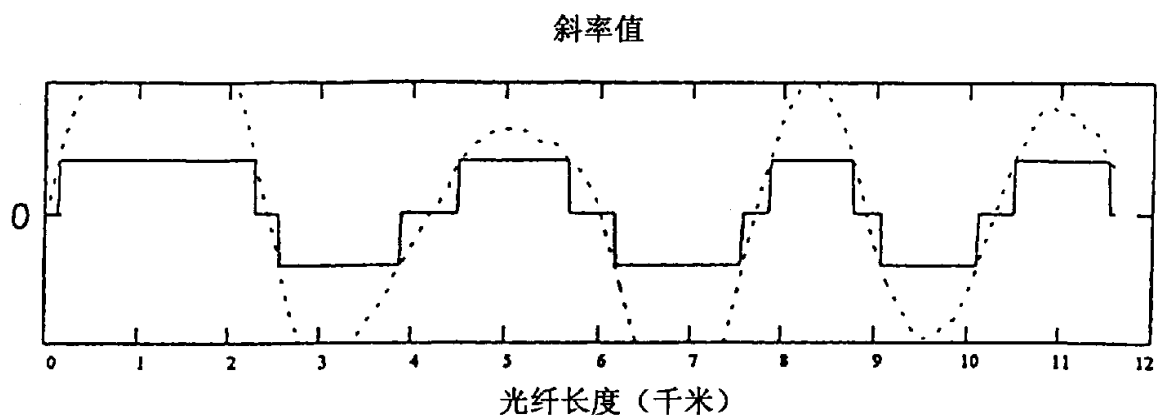


图 4D

00-00-14

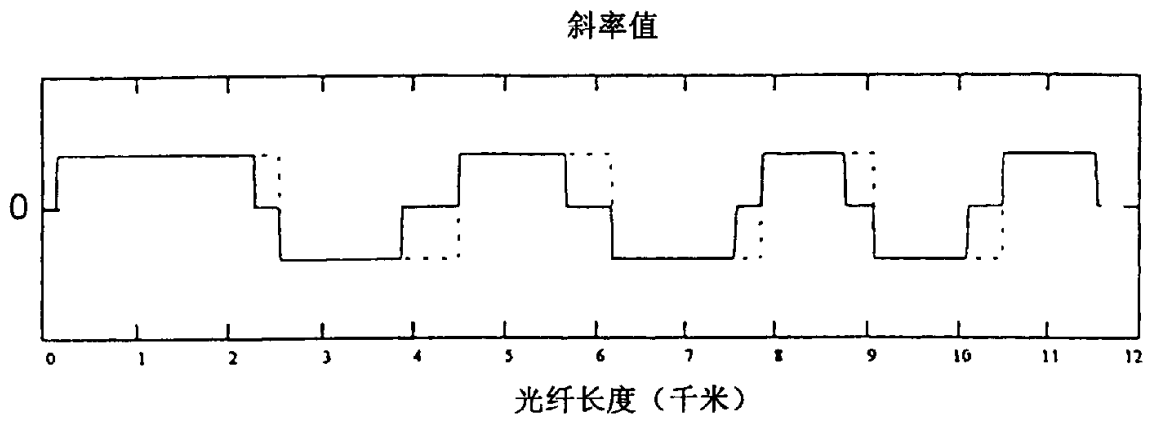


图 4E