

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101060376 B

(45) 授权公告日 2012. 08. 22

(21) 申请号 200710078863. 0

CN 1503490 A, 2004. 06. 09, 说明书第 7 页第

(22) 申请日 2007. 02. 16

8 段—第 9 页第 4 段、图 1, 2.

(30) 优先权数据

审查员 巢露琳

2006-116538 2006. 04. 20 JP

(73) 专利权人 冲电气工业株式会社

地址 日本东京

(72) 发明人 佐佐木健介 小林秀幸

(74) 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限

公司 11127

代理人 黄纶伟

(51) Int. Cl.

H04J 14/00 (2006. 01)

H04B 10/02 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 6628864 B2, 2003. 09. 30, 全文.

US 6389045 B1, 2002. 05. 14, 全文.

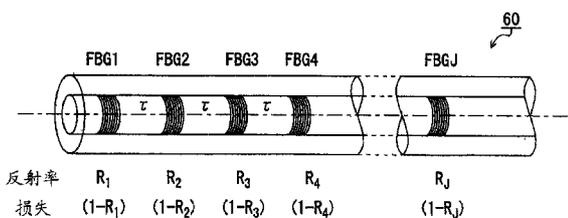
权利要求书 3 页 说明书 22 页 附图 14 页

(54) 发明名称

光脉冲时间扩散器

(57) 摘要

本发明提供一种光脉冲时间扩散器,可生成强度一致的码片脉冲串。第 1、第 2 和第 k(k 是满足 $3 \leq k \leq J$ 的整数) 单位 FBG 的各个反射率 R_1 、 R_2 和 R_k 由下式给出。 $R_1 = P_c$ (常数) (a); $R_2 = P_c / (1 - R_1)^2$ (b); $R_k = (P_c^{1/2} - P_k^{1/2}) / \{(1 - R_1)^2 \cdot (1 - R_2)^2 \cdots (1 - R_{k-1})^2\}$ (c-1); $R_k = (P_c^{1/2} + P_k^{1/2}) / \{(1 - R_1)^2 \cdot (1 - R_2)^2 \cdots (1 - R_{k-1})^2\}$ (c-2); 其中, P_c 是任意常数, P_k 是第 k 个被输出的 3 次反射的码片脉冲的强度。并且, 式 (c-1) 和式 (c-2) 是在第 k 个被输出的 1 次反射的码片脉冲与第 k 个被输出的 3 次反射的码片脉冲之间的相位差分别是 0 和 π 的情况下的第 k 单位衍射光栅的反射率。



1. 一种光脉冲时间扩散器,其具有相位控制单元,该相位控制单元用于通过使用了光相位码的编码将光脉冲时间扩散为依次排列在时间轴上的码片脉冲串,生成并输出该码片脉冲串,其特征在于,

该相位控制单元将与构成上述光相位码的码值一一对应的单位衍射光栅按照第 1 至第 J 单位衍射光栅的顺序沿着光波导的导波方向从该光波导的入射端依次排列成一列, J 是大于等于 2 的整数,

把从上述相位控制单元依次输出的码片脉冲设定为第 1 至第 J 码片脉冲,

上述第 1 码片脉冲是由上述第 1 单位衍射光栅通过 1 次布拉格反射而生成并输出的码片脉冲,

上述第 2 码片脉冲是由上述第 2 单位衍射光栅通过 1 次布拉格反射而生成并输出的码片脉冲,

上述单位衍射光栅的各个反射率被设定成使上述第 1 至第 J 码片脉冲的强度全部相等,

当 J 是大于等于 3 的整数,且把 k 设定为满足 $3 \leq k \leq J$ 的整数时,第 k 码片脉冲是由第 k 单位衍射光栅通过 1 次布拉格反射而生成并输出的 1 次反射的码片脉冲与根据多个上述单位衍射光栅通过 3 次以上的奇数次布拉格反射而生成并输出的奇数次反射的码片脉冲的干涉结果所生成的码片脉冲,

上述第 1 单位衍射光栅的反射率 R_1 由

$$R_1 = P_c \quad (a)$$

给出,

上述第 2 单位衍射光栅的反射率 R_2 由

$$R_2 = P_c / (1 - R_1)^2 \quad (b)$$

给出,

上述第 k 单位衍射光栅的反射率 R_k 由

$$R_k = (P_c^{1/2} - P_k^{1/2})^2 / \{(1 - R_1)^2 \cdot (1 - R_2)^2 \cdot \dots \cdot (1 - R_{k-1})^2\} \quad (c-1)$$

$$R_k = (P_c^{1/2} + P_k^{1/2})^2 / \{(1 - R_1)^2 \cdot (1 - R_2)^2 \cdot \dots \cdot (1 - R_{k-1})^2\} \quad (c-2)$$

给出,

其中, P_c 是作为从上述第 1 单位衍射光栅反射并从上述相位控制单元输出的上述第 1 码片脉冲的强度而设定的任意常数, P_k 是从上述相位控制单元第 k 个被输出的 3 次反射的码片脉冲的强度,并且,上述式 (c-1) 给出在从上述第 k 单位衍射光栅通过 1 次布拉格反射而生成并且第 k 个被输出的上述 1 次反射的码片脉冲与从上述单位衍射光栅通过 3 次布拉格反射而生成并且第 k 个被输出的上述 3 次反射的码片脉冲之间的相位差是 $2P\pi$ 的情况下的上述第 k 单位衍射光栅的反射率, P 是整数,上述式 (c-2) 给出在从上述第 k 单位衍射光栅通过 1 次布拉格反射而生成并且第 k 个被输出的上述 1 次反射的码片脉冲与从上述单位衍射光栅通过 3 次布拉格反射而生成并且第 k 个被输出的上述 3 次反射的码片脉冲之间的相位差是 $(2Q+1)\pi$ 的情况下的上述第 k 单位衍射光栅的反射率, Q 是整数。

2. 根据权利要求 1 所述的光脉冲时间扩散器,其特征在于,上述单位衍射光栅的周期性折射率调制结构的折射率调制强度使用窗函数来变迹。

3. 根据权利要求 2 所述的光脉冲时间扩散器,其特征在于,上述窗函数是高斯误差函

数。

4. 根据权利要求 1 至 3 中的任意一项所述的光脉冲时间扩散器,其特征在於,上述光波导是光纤。

5. 一种光脉冲时间扩散器,其具有相位控制单元,该相位控制单元用于通过使用了光相位码的编码将光脉冲时间扩散为依次排列在时间轴上的码片脉冲串,生成并输出该码片脉冲串,其特征在於,

该相位控制单元将与构成上述光相位码的码值一一对应的单位衍射光栅按照第 1 至第 J 单位衍射光栅的顺序沿着光波导的导波方向从该光波导的入射端依次排列成一列, J 是大于等于 2 的整数;

来自前后邻接且给出相等码值的 2 个上述单位衍射光栅的布拉格反射光的相位差由

$$2M\pi \quad (1)$$

给出, M 是整数,

来自前后邻接且给出不同码值的 2 个上述单位衍射光栅的布拉格反射光的相位差由

$$(2N+1)\pi \quad (2)$$

给出, N 是整数,

上述第 1 单位衍射光栅的反射率 R_1 由

$$R_1 = P_c \quad (a)$$

给出,

上述第 2 单位衍射光栅的反射率 R_2 由

$$R_2 = P_c / (1-R_1)^2 \quad (b)$$

给出,

当 J 是大于等于 3 的整数,且把 k 设定为满足 $3 \leq k \leq J$ 的整数时,上述第 k 单位衍射光栅的反射率 R_k 由

$$R_k = (P_c^{1/2} - P_k^{1/2})^2 / \{(1-R_1)^2 \cdot (1-R_2)^2 \cdot \dots \cdot (1-R_{k-1})^2\} \quad (c-1)$$

$$R_k = (P_c^{1/2} + P_k^{1/2})^2 / \{(1-R_1)^2 \cdot (1-R_2)^2 \cdot \dots \cdot (1-R_{k-1})^2\} \quad (c-2)$$

给出,

其中, P_c 是作为从上述第 1 单位衍射光栅反射并从上述相位控制单元输出的上述第 1 码片脉冲的强度而设定的任意常数, P_k 是从上述相位控制单元第 k 个被输出的上述 3 次反射的码片脉冲的强度,并且,上述式 (c-1) 给出在从上述第 k 单位衍射光栅通过 1 次布拉格反射而生成并且第 k 个被输出的上述 1 次反射的码片脉冲与从上述单位衍射光栅通过 3 次布拉格反射而生成并且第 k 个被输出的上述 3 次反射的码片脉冲之间的相位差是 $2P\pi$ 的情况下的上述第 k 单位衍射光栅的反射率, P 是整数,上述式 (c-2) 给出在从上述第 k 单位衍射光栅通过 1 次布拉格反射而生成并且第 k 个被输出的上述 1 次反射的码片脉冲与从上述单位衍射光栅通过 3 次布拉格反射而生成并且第 k 个被输出的上述 3 次反射的码片脉冲之间的相位差是 $(2Q+1)\pi$ 的情况下的上述第 k 单位衍射光栅的反射率, Q 是整数。

6. 根据权利要求 5 所述的光脉冲时间扩散器,其特征在於,上述单位衍射光栅的周期性折射率调制结构的折射率调制强度使用窗函数来变迹。

7. 根据权利要求 6 所述的光脉冲时间扩散器,其特征在於,上述窗函数是高斯误差函数。

8. 根据权利要求5至7中的任意一项所述的光脉冲时间扩散器,其特征在于,上述光波导是光纤。

光脉冲时间扩散器

技术领域

[0001] 本发明涉及在光码分复用 (OCDM:Optical Code Division Multiplexing) 通信系统中被用作编码器或解码器的光脉冲时间扩散器,特别是涉及将单位衍射光栅沿着光波导的导波方向串联配置的结构的光脉冲时间扩散器。

背景技术

[0002] 近年来,随着互联网的普及等通信需求急速增大。与此对应,使用光纤的高速大容量的网络正在建设。而且,为了实现通信的大容量化,人们正在探讨在一条光纤传送路径上集中传送多个信道的光脉冲信号的光复用技术。

[0003] 作为光复用技术之一,对 OCDM 进行研究。OCDM 具有在运用方面的灵活性,即,具有针对每一比特分配的光脉冲信号在时间轴上没有限制的特长。并且,还具有可在时间轴上对同一时段设定多个信道、或者在波长轴上也能对同一波长设定多个通信信道的特长。

[0004] OCDM 是对每个信道分配不同的码(模式)、并通过模式匹配抽出信号的通信方法。即,OCDM 是在发送侧使用针对每个通信信道而不同的光码对光脉冲信号进行编码、并在接收侧使用与发送侧相同的光码进行解码来还原成原来的光脉冲信号的光复用技术。

[0005] 由于在解码时仅把码一致的光脉冲信号作为有效信号抽出来处理,因而可把由组合有相同波长或多个波长的光构成的光脉冲信号分配给多个通信信道。并且,由于编码器可把光纤布拉格光栅(FBG:Fiber-Bragg-Grating)等的无源光元件用于码处理所需要的相位控制,因而可应对通信速率的高速化而不受编码处理中的电气限制。并且,能以同一波长在同一时刻对多个信道进行复用,可进行大容量的数据通信。

[0006] 作为 OCDM 中的编码手段,公知有把光相位用作码的光相位码方式。具体地说,在编码器和解码器中使用超结构光纤布拉格光栅(SSFBG:Superstructure Fiber Bragg Grating)(例如,参照非专利文献 1 至 3)。

[0007] 参照图 1(A) 至 (E),对在利用把 SSFBG 用作相位控制单元的光脉冲时间扩散器作为编码器和解码器的情况下的光脉冲时间扩散器的动作原理进行说明。以下,有时把将 SSFBG 用作相位控制单元的光脉冲时间扩散器也简称为 SSFBG 光脉冲时间扩散器。图 1(A) 是示出输入光脉冲的时间波形的图。图 1(E) 是对由编码器编码的编码光脉冲串由解码器解码的情况进行说明的图。

[0008] 图 1(A) 所示的输入光脉冲如图 1(E) 所示,从光纤 12 经由光环行器 14 被输入到编码器 10 中进行编码,再经由光环行器 14 在光纤 18 上传播,经由光环行器 22 被输入到解码器 20 中。然后,通过由解码器 20 解码而生成自相关波形,该自相关波形经由光环行器 22 在光纤 26 上传播。

[0009] 图 1(E) 所示的编码器 10 和解码器 20 是将 4 个单位 FBG 沿着光纤的导波方向排列而构成的 SSFBG。这里,作为一例,使用 4 比特的光码 (0,0,1,0) 对编码器 10 和解码器 20 的功能进行说明。这里,给出光码的由“0”和“1”构成的数列的项数有时也称为码长。在该例中,码长是 4。并且,给出光码的数列有时也称为码串,码串的各项“0”和“1”有时也称

为码片。并且,0 和 1 的值本身有时也称为码值。

[0010] 构成编码器 10 的单位 FBG 10a、10b、10c 和 10d 分别与上述光码的第 1 码片“0”、第 2 码片“0”、第 3 码片“1”和第 4 码片“0”对应。决定码值是 0 还是 1,这是从邻接的单位 FBG 反射的布拉格反射光的相位关系。即,由于第 1 码片和第 2 码片取相等的码值 0,因而从与第 1 码片对应的单位 FBG 10a 反射的布拉格反射光的相位和从与第 2 码片对应的单位 FBG 10b 反射的布拉格反射光的相位相等。并且,由于第 2 码片的码值是 0,并且第 3 码片的码值是 1,因而两者取相互不同的值。因此,从与第 2 码片对应的单位 FBG 10b 反射的布拉格反射光的相位和从与第 3 码片对应的单位 FBG 10c 反射的布拉格反射光的相位之差为 π 。同样,由于第 3 码片的码值是 1,并且第 4 码片的码值是 0,因而两者取相互不同的值。因此,从与第 3 码片对应的单位 FBG 10c 反射的布拉格反射光的相位和从与第 4 码片对应的单位 FBG 10d 反射的布拉格反射光的相位之差为 π 。

[0011] 这样,将通过改变来自单位 FBG 的布拉格反射光的相位而规定的光码有时也称为光相位码。

[0012] 下面,说明由编码器对光脉冲进行编码而转换成编码光脉冲串,并由解码器对该编码光脉冲串进行解码而形成自相关波形的过程。当图 1(A) 所示的单一光脉冲从光纤 12 经由光环行器 14 和光纤 16 被输入到编码器 10 中时,生成来自单位 FBG 10a、10b、10c 和 10d 的布拉格反射光。因此,把来自单位 FBG 10a、10b、10c 和 10d 的布拉格反射光分别设定为 a、b、c 和 d。即,图 1(A) 所示的单一光脉冲被时间扩散为布拉格反射光 a、b、c 和 d 而转换成编码光脉冲串。

[0013] 当相对于时间轴表示布拉格反射光 a、b、c 和 d 时,如图 1(B) 所示,分离为 4 个光脉冲而构成在时间轴上以依赖于单位 FBG 10a、10b、10c 和 10d 的排列方法的指定间隔所排列的光脉冲串。因此,编码光脉冲串是指输入到编码器中的光脉冲在时间轴上被时间扩散为多个光脉冲的光脉冲串。

[0014] 图 1(B) 相对于时间轴示出在光纤 18 上传播的编码光脉冲串。在图 1(B) 中,为了容易观察和表示编码光脉冲串,沿着纵轴方向使光脉冲错开来表示。

[0015] 单位 FBG 10a 的布拉格反射光是在图 1(B) 中由 a 表示的光脉冲。同样,FBG 10b、FBG 10c 和 FBG 10d 的布拉格反射光是在图 1(B) 中分别由 b、c 和 d 表示的光脉冲。由于由 a 表示的光脉冲是从最接近编码器 10 的入射端的单位 FBG 10a 反射的光脉冲,因而位于在时间上最超前的位置。由 b、c 和 d 表示的光脉冲分别是来自 FBG 10b、FBG 10c 和 FBG 10d 的布拉格反射光,FBG 10b、FBG 10c 和 FBG 10d 是从编码器 10 的入射端按该顺序排列的,因而由 b、c 和 d 表示的光脉冲如图 1(B) 所示,继由 a 表示的光脉冲之后按 b、c、d 的顺序排列。在以下说明中,与布拉格反射光 a、布拉格反射光 b、布拉格反射光 c 和布拉格反射光 d 的各方对应的光脉冲有时也分别表现为光脉冲 a、光脉冲 b、光脉冲 c 和光脉冲 d。并且,光脉冲 a、光脉冲 b、光脉冲 c 和光脉冲 d 有时也分别称为码片脉冲。

[0016] 如上所述,构成编码光脉冲串的这些布拉格反射光 a、b、c 和 d 的相位关系如下。布拉格反射光 a 的相位和布拉格反射光 b 的相位相等。布拉格反射光 b 的相位和布拉格反射光 c 的相位之差为 π 。布拉格反射光 c 的相位和布拉格反射光 d 的相位之差为 π 。即,当以布拉格反射光 a 的相位为基准时,布拉格反射光 a、布拉格反射光 b 和布拉格反射光 d 的相位相等,相比之下,布拉格反射光 c 的相位相差 π 。

[0017] 因此,在图 1(B)中,与布拉格反射光 a、布拉格反射光 b 和布拉格反射光 d 的各方对应的光脉冲由实线表示,与布拉格反射光 c 对应的光脉冲由虚线表示。即,为了区别布拉格反射光之间的相位关系,假定使用实线和虚线来表示对应的光脉冲。由实线表示的光脉冲之间的相位彼此相等、并且由虚线表示的光脉冲之间的相位存在彼此相等的关系。然后,由实线表示的光脉冲的相位和由虚线表示的光脉冲的相位相差 π 。

[0018] 编码光脉冲串在光纤 18 上传播,经由光环行器 22 被输入到解码器 20 中。解码器 20 具有与编码器 10 相同的结构,然而输入端和输出端相反。即,从解码器 20 的输入端依次排列为单位 FBG 20a、20b、20c 和 20d,然而单位 FBG 20a 和单位 FBG 10d 对应。并且,同样,单位 FBG 20b、单位 FBG 20c 和单位 FBG 20d 与单位 FBG 10c、单位 FBG 10b 和单位 FBG 10a 分别对应。

[0019] 首先,构成输入到解码器 20 中的编码光脉冲串的光脉冲 a 从单位 FBG 20a、20b、20c 和 20d 分别进行布拉格反射。参照图 1(C) 对该情况进行说明。图 1(C) 取时间轴为横轴。然后为了方便起见,附上 1 至 7 来显示时刻的前后关系。

[0020] 图 1(C) 与图 1(B) 一样是相对于时间轴表示编码光脉冲串的图。编码光脉冲串在被输入到解码器 20 中时,首先由单位 FBG 20a 进行布拉格反射。假定把由单位 FBG 20a 进行布拉格反射的反射光表示为布拉格反射光 a'。同样假定把由单位 FBG 20b、单位 FBG 20c 和单位 FBG 20d 进行布拉格反射的反射光分别表示为布拉格反射光 b'、c' 和 d'。

[0021] 构成编码光脉冲串的光脉冲 a、b、c 和 d 从单位 FBG 20a 进行布拉格反射,排列在图 1(C) 中表示为 a' 的串的时间轴上。从单位 FBG 20a 进行了布拉格反射的光脉冲 a 是在时间轴上表示为 1 的位置具有峰值的光脉冲。从单位 FBG 20a 进行了布拉格反射的光脉冲 b 是在时间轴上表示为 2 的位置具有峰值的光脉冲。同样,光脉冲 c 和光脉冲 d 分别是在时间轴上表示为 3 和 4 的位置具有峰值的光脉冲。

[0022] 构成编码光脉冲串的光脉冲 a、b、c 和 d 也从单位 FBG 20b 进行布拉格反射,并排列在图 1(C) 中表示为 b' 的串的时间轴上。从单位 FBG 20b 反射的布拉格反射光 b' 与布拉格反射光 a'、c' 和 d' 进行比较,其相位偏移 π 。因此,排列在表示为 a' 的串的时间轴上的光脉冲串和排列在表示为 b' 的串的时间轴上的光脉冲串的相位全部偏移 π 。

[0023] 因此,在表示为 a' 的时间轴上按照从 1 至 4 的顺序排列的光脉冲串按照实线、实线、虚线、实线的顺序排列,相比之下,在表示为 b' 的时间轴上按照 2 至 5 的顺序排列的光脉冲串按照虚线、虚线、实线、虚线的顺序排列。由表示为 a' 的光脉冲串和表示为 b' 的光脉冲串在时间轴上偏移是因为,构成编码光脉冲串的光脉冲中的光脉冲 a 在光脉冲 b 之前被输入到解码器 20 中。

[0024] 同样,构成编码光脉冲串的光脉冲 a、b、c 和 d 也从单位 FBG 20c 和单位 FBG 20d 进行布拉格反射,光脉冲排列在图 1(C) 中分别表示为 c' 和 d' 的串的时间轴上。从单位 FBG 20c 和单位 FBG 20d 反射的布拉格反射光 c' 和 d' 与布拉格反射光 a' 进行比较,其相位相等。因此,在图 1(C) 中作为表示为 c' 的光脉冲串和表示为 d' 的光脉冲串排列在时间轴上。与布拉格反射光 a'、c' 和 d' 相关联的光脉冲在时间轴上平行偏移,然而与各个布拉格反射光相关联的光脉冲的相互相位关系是相同的。

[0025] 图 1(D) 示出由解码器 20 解码的输入光脉冲的自相关波形。横轴是时间轴,与图 1(C) 所示的图一致。由于自相关波形由来自编码器的各单位 FBG 的布拉格反射光 a'、b'、

c' 和 d' 之和给出,因而使图 1(C) 所示的布拉格反射光 a' 、 b' 、 c' 和 d' 全部相加。在图 1(C) 的时间轴上表示为 4 的时刻,与布拉格反射光 a' 、 b' 、 c' 和 d' 相关联的光脉冲全部以相同相位相加,因而构成最大峰值。并且,在图 1(C) 的时间轴上表示为 3 和 5 表示的时刻,由虚线表示的 2 个光脉冲和由实线表示的 1 个光脉冲相加,因而形成相位与表示为 4 的时刻的最大峰值相差 π 的 1 个光脉冲的峰值。并且,在图 1(C) 的时间轴上表示为 1 和 7 的时刻,由实现表示的光脉冲是 1 个,因而形成相位与表示为 4 的时刻的最大峰值相等的 1 个光脉冲的峰值。

[0026] 如以上说明那样,光脉冲由编码器 10 编码而成为编码光脉冲串,该编码光脉冲串由解码器 20 解码而生成自相关波形。在这里举出的例子中,使用 4 比特(码长 4)的光码(0,0,1,0),然而,即使在光码是除此以外的情况下,上述说明也同样成立。

[0027] 参照图 2(A) 至 (C) 对现有的光脉冲时间扩散器的相位控制单元、即 SSFBG 的概略结构进行说明。图 2(A) 是 SSFBG 的示意性切断面图。该 SSFBG 采用在具有芯 34 和包层 32 的光纤 36 的芯 34 上固定有 SSBFG30 的结构。15 个单位 FBG 沿着光纤 36 的光波导即芯 34 的导波方向串联配置而构成 SSFBG 30。

[0028] 设定在图 2(A) 所示的现有的 SSFBG 内的光相位码在表记为 15 比特的码串时,是(0,0,0,1,1,1,1,0,1,0,1,1,0,0,1)。然后,串联配置在芯 34 上的 15 个单位 FBG 与上述光码的对应关系如下。即,在图 2(A) 所示的 SSFBG 30 的左端至右端的方向上排列的单位 FBG 与在表示被表记为上述 15 比特的码串的单位 FBG 的光码(0,0,0,1,1,1,1,0,1,0,1,1,0,0,1)的左端至右端的方向上排列的码片一对一对应。

[0029] 15 个单位 FBG 的折射率调制周期 Λ 和布拉格反射波长 λ 是 $\lambda = 2n_{\text{eff}} \cdot \Lambda$ 的关系。这里, n_{eff} 是在芯 34 内进行导波的光的有效折射率。在以下说明中,有效折射率有时也简称为折射率。即,后述的图 2(B) 所示的 SSFBG30 的折射率调制结构意味着 SSFBG 30 的折射率的调制结构。

[0030] 在图 2(A) 中,从邻接的单位 FBG 反射的布拉格反射光的相位关系存在两者的相位差是 0 的情况和是 π 的情况。在图 2(A) 中,假定从左向右排列的单位 FBG 依次分配 1 至 15 的编号而成为单位 FBG 1、单位 FBG 2、... 单位 FBG 15,则为了设定 15 比特的码串(0,0,0,1,1,1,1,0,1,0,1,1,0,0,1),从邻接的单位 FBG 反射的布拉格反射光的相位关系按表 1 那样来设定。

[0031] 生成相位差是 π 的邻接的码片脉冲的单位 FBG 是邻接配置的单位 FBG,由于光在这些单位 FBG 之间进行往复,所以该邻接的单位 FBG 之间的几何配置间隔(表 1 所示的相移量)被换算成相位值、为 $\pi/2$ 。即,由单位 FBG(前一单位 FBG)进行布拉格反射而生成的码片脉冲(前一码片脉冲)和与该码片脉冲邻接而输出的码片脉冲(后一码片脉冲)是由配置在该单位 FBG(前一单位 FBG)之后的单位 FBG(后一单位 FBG)进行布拉格反射而生成的码片脉冲。因此,后一码片脉冲延迟在前一单位 FBG 与后一单位 FBG 之间($\pi/2$)往复一次的部分($(\pi/2) \times 2 = \pi$)而输出。

[0032] 【表 1】

[0033]

码	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1
相移量	0	0	$\frac{\pi}{2}$	0	0	0	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{2}$	0	$\frac{\pi}{2}$	0	$\frac{\pi}{2}$	

[0034] 关于从邻接的单位 FBG 反射的布拉格反射光的相位关系, 两者的相位差是 0 和 π 的情况, 如果把 M 和 N 设定为整数而进行一般表现, 则分别是为 $2\pi M$ 和 $(2N+1)\pi (= 2\pi N + \pi)$ 的情况。在该情况下, 邻接的单位 FBG 之间的间隔如果换算成相位值, 则由 πM 和 $\pi N + (\pi/2)$ 给出。即, 从邻接的单位 FBG 反射的来自单位 FBG 的布拉格反射光的相位差由于光在这些邻接的单位 FBG 之间进行往复, 所以为这些邻接的单位 FBG 的间隔的 2 倍。然而, 在以下说明中, 相位值省略 πM 和 $\pi N + (\pi/2)$ 等的一般标记, 有时也分别标记为 0 和 $\pi/2$ 等, 即 $M = N = 0$ 。

[0035] 在图 2(A) 中, 在邻接的单位 FBG 之间的布拉格反射光的相位相差 π 的情况下, 将该两者的单位 FBG 的间隔全部涂黑来表示。并且, 在邻接的单位 FBG 之间的布拉格反射光的相位相等的情况下, 该两者的单位 FBG 的间隔采用连续的光调制结构来表示。另一方面, 在图 2(B) 中, 在邻接的单位 FBG 之间的布拉格反射光的相位相差 π 的情况下, 对该两者的单位 FBG 的间隔附上向下的黑色三角形来表示。

[0036] 在邻接的单位 FBG 之间的布拉格反射光的相位相等的情况下, 两者的单位 FBG 的折射率调制结构为连续的周期结构。另一方面, 在邻接的单位 FBG 之间的布拉格反射光的相位相差 π 的情况下, 两者的单位 FBG 的折射率调制结构在两者的单位 FBG 的边界中插入 π 的偏移 (π 相位的跳跃)。

[0037] 以下, 分配给单位 FBG 的 1 至 15 的编号有时也称为单位 FBG 编号。并且, 单位 FBG 1、单位 FBG 2、... 单位 FBG 15 有时也分别称为第 1 单位 FBG、第 2 单位 FBG、... 第 15 单位 FBG。

[0038] 表 1 的上段示出 15 比特的码串 (0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 0, 1, 0, 1, 1, 0, 0, 1), 单位 FBG 1、单位 FBG 2、... 单位 FBG 15 与该 15 个码值一一对应。表 1 的下段给出从邻接的单位 FBG 反射的布拉格反射光的相位关系。例如, 示出从单位 FBG 1 和单位 FBG 2 反射的布拉格反射光的相位差是 0, 同样, 从单位 FBG 2 和单位 FBG 3 反射的布拉格反射光的相位差是 0。并且, 示出从单位 FBG 3 和单位 FBG 4 反射的布拉格反射光的相位差是 π 。关于单位 FBG 1 至单位 FBG 4 以外的单位 FBG 也是一样。

[0039] 该 SSFBG 30 的特征是, 形成沿着光纤的导波方向串联配置的单位 FBG 的周期性折射率调制结构的折射率调制强度构成为沿着该光纤的导波方向单调增大。

[0040] 图 2(B) 是概略示出图 2(A) 所示的 SSFBG 30 的折射率调制结构的图。并且, 图 2(C) 是将图 2(B) 所示的单位 FBG 的折射率调制结构局部放大的图。单位 FBG 的折射率调制结构的折射率调制大小 Δn 沿着光纤 36 的光导波方向 (x 方向) 单调增大。在图 2(B) 中, 在折射率调制大小是极大的位置上单位 FBG 的折射率是 $n_a + (\Delta n/2)$, 在折射率调制大小是极小的位置上单位 FBG 的折射率是 $n_a - (\Delta n/2)$ 。这里, n_a 是光纤 36 的折射率的平均值。

[0041] 即, 在图 2(B) 中, 表示光纤的平均折射率 n_a 的中心轴由与表示光纤的长度方向的位置坐标的横轴平行的直线表示。即, 该直线的上侧的曲线表示平均折射率比 n_a 大 $\Delta n/2$,

下侧的曲线表示平均折射率比 n_a 小 $\Delta n/2$ 。因此, SSFBG 30 的折射率大小使用平均折射率 n_a 而由 $n_a \pm (\Delta n/2)$ 给出。

[0042] 参照图 3(A) 和 (B), 对各单位 FBG 的反射率和来自各单位 FBG 的输出码片脉冲的强度的关系进行说明。在图 3(A) 和 (B) 中, 横轴表示单位 FBG 编号。图 3(A) 的纵轴表示来自各单位 FBG 的反射率, 图 3(B) 的纵轴以任意刻度表示从各单位 FBG 输出的码片脉冲的强度。

[0043] 由于折射率调制大小 Δn 沿着光纤 36 的光导波方向 (x 方向) 单调增大, 因而如图 3(A) 所示, 随着单位 FBG 编号的增大, 其反射率增大。即, 越是配置在接近光纤 36 的右端的位置的单位 FBG, 其反射率就越大。这样, 为了排列单位 FBG, 如图 3(B) 所示, 可使从各单位 FBG 输出的码片脉冲的强度均匀。其理由如下。

[0044] 即, 在入射到 SSFBG 的光脉冲由第 1 单位 FBG (单位 FBG 1) 进行布拉格反射并入射到第 2 单位 FBG (单位 FBG 2) 中的阶段, 其强度减少了第 1 单位 FBG 的布拉格反射光的强度。因此, 当把 15 个单位 FBG 的反射率设定为全部相等时, 第 2 单位 FBG 的布拉格反射光的强度小于第 1 单位 FBG 的布拉格反射光的强度。这样, 来自各个单位 FBG 的布拉格反射光的强度按照第 1 至第 15 单位 FBG 的顺序依次减弱。

[0045] 因此, 通过把沿着光纤的导波方向串联配置的 15 个单位 FBG 的折射率调制强度构成为沿着导波方向单调增大, 从而将各个单位 FBG 的布拉格反射率设定为按照第 1 至第 15 单位 FBG 的顺序依次单调增大。这样, 可增大布拉格反射率以补充对各单位 FBG 的入射强度的减少部分, 可使来自第 1 至第 15 单位 FBG 的布拉格反射光的强度 (所输出的码片脉冲的强度) 全部相等。

[0046] 只要能使从第 1 至第 15 单位 FBG 输出的码片脉冲的强度全部相等, 就能使编码光脉冲串的时间波形接近相对于时间轴是平坦的形状。换句话说, 意味着被编码的光脉冲由编码器在扩散时间内以均等强度进行时间扩散。当光脉冲在扩散时间内被时间扩散为均等强度的码片脉冲串时, 与不均等地进行时间扩散的情况相比较, 从光脉冲的能量高效地被转换成编码光脉冲串。并且, 如后所述, 在利用 SSFBG 光脉冲时间扩散器作为解码器的情况下, 可把自相关波形的峰值与次峰值之比设定得大, 可提高信号识别的可靠性 (例如, 参照非专利文献 4)。由于在把自相关波形的峰值设定为信号时次峰值是噪音, 因而峰值与次峰值之比也能称为 S/N 比 (S/N: Signal to Noise Ratio: 信噪比)。

[0047] 【非特許文献 1】水波 徹「光ファイバー回折格子」応用物理 第 67 卷 第 9 号 pp. 1029-1034、(1998)。

[0048] 【非特許文献 2】西木玲彦、岩村英志、小林秀幸、沓澤聡子、大柴小枝子「SSFBG を用いた OCDM 用位相符号器の開発」信学技法 Technical Report of IEICE. OFT2002-66, (2002-11)。

[0049] 【非特許文献 3】外林秀之「光符号分割多重ネットワーク」応用物理 第 71 卷 第 7 号、pp. 853-859 (2002)。

[0050] 【非特許文献 4】Koji Matsushima, Xu Wang, Satoko Kutsuzawa, Akihiko Nishiki, Saeko Oshiba, Naoya Wada, and Ken-ichi Kitayama, " Experimental Demonstration of Performance Improvement of 127-Chip SSFBG En/Decoder Using Apodization Technique " , IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 16, No. 9, pp. 2192-2194,

September 2004.

[0051] 然而,在上述现有的 SSFBG 中,所输出的码片脉冲不限于从单位 FBG 通过仅 1 次的布拉格反射(以下有时也称为 1 次反射)而生成的码片脉冲,还包含通过奇数次布拉格反射而生成的码片脉冲。因此,即使形成沿着光纤的导波方向串联配置的单位 FBG 的周期性折射率调制结构的折射率调制强度构成为沿着该光纤的导波方向单调增大,所输入的光脉冲也不限于作为以均等强度进行了时间扩散的码片脉冲串来输出。

[0052] 参照图 4(A) 至 (C) 对该情况进行说明。图 4(A) 至 (C) 是对赋予给由单位 FBG 生成的输出码片脉冲的强度的复用反射的效果进行说明的图。图 4(A) 至 (C) 的横轴以任意刻度表示时间轴,尽管纵轴省略,然而纵轴方向以任意刻度表示光强度。

[0053] 图 4(A) 至 (C) 示出在一个光脉冲被输入到 SSFBG 中的情况下,从 SSFBG 输出的即从 SSFBG 作为布拉格反射光而输出的码片脉冲串的时间波形。图 4(A) 示出从各单位 FBG 通过 1 次反射而生成的情况下的码片脉冲串的时间波形。图 4(B) 示出从各单位 FBG 通过 3 次布拉格反射(以下有时也称为 3 次反射)而生成的码片脉冲串的时间波形。图 4(C) 示出从各单位 FBG 通过 1 次反射而生成的情况的码片脉冲串与通过 3 次反射而输出的码片脉冲串重合干涉的结果是从 SSFBG 输出的码片脉冲串的时间波形。

[0054] 对从各单位 FBG 通过 3 次反射而输出的码片脉冲串是如何生成的码片脉冲串进行说明。

[0055] 输入到 SSFBG 中的光脉冲首先由第 1 单位 FBG(单位 FBG 1) 进行布拉格反射而输出。该光脉冲是在图 4(A) 中附上“1”来表示的码片脉冲。然后,由第 2 单位 FBG(单位 FBG 2) 进行布拉格反射而输出。该光脉冲是在图 4(A) 中附上“2”来表示的码片脉冲。在仅由 2 个单位 FBG 构成的 SSFBG 中,不存在通过 3 次反射而输出的码片脉冲。在图 4(A) 中附上“3”~“15”来表示的码片脉冲分别是由单位 FBG 3 至单位 FBG 15 进行布拉格反射而输出的 1 次反射的码片脉冲。在图 4(A) 中作为“1”~“15”附给各码片脉冲的 1 至 15 的编号以下有时也称为码片编号。

[0056] 在图 4(A) 中码片编号 3 的码片脉冲是由第 3 单位 FBG(单位 FBG3) 进行布拉格反射而输出的码片脉冲。并且,在图 4(B) 中码片编号 3 的码片脉冲是由单位 FBG 2 反射、由单位 FBG 1 反射、再由单位 FBG 2 反射而输出的 3 次反射的码片脉冲。同样,在图 4(B) 中码片编号 4 的码片脉冲是以下合计 3 个码片脉冲的干涉结果的码片脉冲,即:由单位 FBG 2 反射、由单位 FBG 1 反射、再由单位 FBG 3 反射而输出的 3 次反射的码片脉冲,由单位 FBG 3 反射、由单位 FBG 1 反射、再由单位 FBG2 反射而输出的 3 次反射的码片脉冲,以及由单位 FBG 3 反射、由单位 FBG 2 反射、再由单位 FBG 3 反射而输出的 3 次反射的码片脉冲。关于在图 4(B) 中码片编号 5 至 15 的码片脉冲也是一样。

[0057] 即,在图 4(B) 中码片编号 k 的码片脉冲包含由单位 FBG($k-1$) 反射、由单位 FBG($k-2$) 反射、再由单位 FBG($k-1$) 反射而输出的 3 次反射的码片脉冲,是在从单位 FBG 1 至单位 FBG($k-1$) 的 ($k-1$) 个单位 FBG 中选择的 2 个单位 FBG 组之间通过 3 次布拉格反射而生成并且第 k 个被输出的所有 3 次反射的码片脉冲。这里, k 是 3 至 15 的整数。

[0058] 因此,图 4(C) 示出将图 4(A) 所示的码片脉冲的振幅与图 4(B) 所示的码片脉冲的振幅之和求平方而获得的码片脉冲串的时间波形。如图 4(C) 所示,当存在通过奇数次的布拉格反射而输出的码片脉冲时,即使配置沿着光纤的导波方向反射率逐渐大的单位

FBG, 所输入的光脉冲也不限于作为以均等强度进行了时间扩散的码片脉冲串而输出。即, 为了作为以均等强度进行了时间扩散的码片脉冲串而输出, 仅配置沿着光纤的导波方向反射率逐渐大的单位 FBG 是不够的。

[0059] 参照图 5(A) 和 (B), 示出对上述说明内容进行定量计算而明确的结果。图 5(A) 和 (B) 示出关于从 SSFBG 输出的码片脉冲串的强度的模拟结果。图 5(A) 和 (B) 的横轴表示码片编号。图 5(A) 的纵轴表示码片脉冲的强度, 图 5(B) 的纵轴表示码片脉冲的相位。在图 5(B) 的纵轴上, 相位是“-1”的码片脉冲和相位是“1”的码片脉冲是反相位的关系。即, 示出相位是“-1”的码片脉冲与相位是“1”的码片脉冲的相位差是 π 。

[0060] 在图 5(A) 中, 通过 1 次反射而生成的情况下的码片脉冲由白圈符号表示, 通过 3 次反射而输出的情况下的码片脉冲由 \times 符号表示。作为通过 1 次反射和 3 次反射而生成的码片脉冲之和而求出的码片脉冲由黑圈符号表示。并且, 在图 5(B) 中, 通过 1 次反射而生成的情况下的码片脉冲相位由白圈符号表示, 通过 3 次反射而生成的情况下的码片脉冲相位由 \times 符号表示。

[0061] 如图 5(A) 的白圈符号所示, 通过 1 次反射而生成的情况下的码片脉冲强度是均匀的, 相比之下, 如由黑圈符号所示, 作为通过 1 次反射和 3 次反射而生成的码片脉冲之和而求出的码片脉冲, 即从 SSFBG 输出的码片脉冲的强度发生变动。这是因为, 在通过 1 次反射而生成的码片脉冲的相位与通过 3 次反射而输出的码片脉冲的相位是反相位的关系的情况下, 作为两者之和而求出的从 SSFBG 输出的码片脉冲的强度减弱。

[0062] 如参照图 1(A) 至 (E) 所说明的那样, 使用 SSFBG 的解码器将进行编码而生成的码片脉冲串再次进行编码, 从而从由编码器编码而生成的码片脉冲串再现光脉冲。当光脉冲由 SSFBG 进行时间扩散而生成的码片脉冲串存在不均匀时, 由使用 SSFBG 的解码器将该强度存在不均匀的码片脉冲串再次进行编码。即使在解码器的该再次编码中, 所生成的码片脉冲串存在不均匀, 因而由解码器再现的光脉冲不会成为具有理想的单一峰值的时间波形。如上所述, 以码长是 15 的情况为例作了说明, 然而上述说明显而易见, 即使在码长是 15 的情况以外, 状况也是一样的。

发明内容

[0063] 因此, 本发明的目的是提供一种即使存在通过奇数次反射而生成的码片脉冲, 也能生成码片脉冲的强度全部相等的码片脉冲串的 SSFBG 光脉冲时间扩散器。

[0064] 为了达到上述目的, 根据本发明的要旨, 提供了以下结构的光脉冲时间扩散器。本发明的光脉冲时间扩散器是具有相位控制单元的光脉冲时间扩散器, 该相位控制单元用于通过使用光相位码的编码将光脉冲时间扩散为依次排列在时间轴上的码片脉冲串, 生成并输出该码片脉冲串, 该光脉冲时间扩散器具有以下特征。

[0065] 即, 该相位控制单元将与构成上述光相位码的码值一一对应的单位衍射光栅按照第 1 至第 J 单位衍射光栅的顺序沿着光波导的导波方向从该光波导的入射端依次排列成一列, J 是大于等于 2 的整数, 把从上述相位控制单元依次输出的码片脉冲设定为第 1 至第 J 码片脉冲, 上述第 1 码片脉冲是由上述第 1 单位衍射光栅通过 1 次布拉格反射而生成并输出的码片脉冲, 上述第 2 码片脉冲是由上述第 2 单位衍射光栅通过 1 次布拉格反射而生成并输出的码片脉冲, 上述单位衍射光栅的各个反射率被设定成使上述第 1 至第 J 码片脉冲

的强度全部相等,当 J 是大于等于 3 的整数,且把 k 设定为满足 $3 \leq k \leq J$ 的整数时,第 k 码片脉冲是由第 k 单位衍射光栅通过 1 次布拉格反射而生成并输出的 1 次反射的码片脉冲与根据多个上述单位衍射光栅通过 3 次以上的奇数次布拉格反射而生成并输出的奇数次反射的码片脉冲的干涉结果所生成的码片脉冲,第 1、第 2 和第 k 单位衍射光栅的各个反射率 R_1 、 R_2 和 R_k 被设定成由下式给出。

$$[0066] \quad R_1 = P_c (\text{常数}) \quad (a)$$

$$[0067] \quad R_2 = P_c / (1 - R_1)^2 \quad (b)$$

$$[0068] \quad R_k = (P_c^{1/2} - P_k^{1/2})^2 / \{(1 - R_1)^2 \cdot (1 - R_2)^2 \cdot \dots \cdot (1 - R_{k-1})^2\} \quad (c-1)$$

$$[0069] \quad R_k = (P_c^{1/2} + P_k^{1/2})^2 / \{(1 - R_1)^2 \cdot (1 - R_2)^2 \cdot \dots \cdot (1 - R_{k-1})^2\} \quad (c-2)$$

[0070] 其中, P_c 是作为从第 1 单位衍射光栅反射并从相位控制单元输出的码片脉冲的强度而设定的任意常数。从相位控制单元输出的 J 个所有码片脉冲的强度全都与从该第 1 单位衍射光栅反射并从相位控制单元输出的码片脉冲的强度 P_c 相等。

[0071] P_k 是从相位控制单元第 k 个被输出的 3 次反射的码片脉冲的强度。并且,式 (c-1) 给出在通过 1 次反射而生成并且第 k 个被输出的 1 次反射的码片脉冲与通过 3 次反射而生成并且第 k 个被输出的 3 次反射的码片脉冲之间的相位差是 $2P\pi$ 的情况下 (P 是整数) 的第 k 单位衍射光栅的反射率。并且,式 (c-2) 给出在通过 1 次反射而生成并且第 k 个被输出的 1 次反射的码片脉冲与通过 3 次反射而生成并且第 k 个被输出的 3 次反射的码片脉冲之间的相位差是 $(2Q+1)\pi$ 的情况下 (Q 是整数) 的第 k 单位衍射光栅的反射率。

[0072] 并且,将第 1 至第 J 单位衍射光栅按以下排列来构成相位控制单元,使得基于前后邻接且给出相等码值的 2 个单位衍射光栅的布拉格反射光的相位差由

$$[0073] \quad 2M\pi \quad (1)$$

[0074] 给出,以及基于前后邻接且给出不同码值的 2 个单位衍射光栅的布拉格反射光的相位差由

$$[0075] \quad (2N+1)\pi \quad (2)$$

[0076] 给出 (其中, M 和 N 是整数)。

[0077] 优选的是,单位衍射光栅的周期性折射率调制结构的折射率调制强度使用窗函数来变迹 (apodize)。具体地说,该窗函数可使用高斯误差函数。

[0078] 为了实现相位控制单元,优选的是,排列单位衍射光栅的光波导采用光纤。

[0079] 根据本发明的光脉冲时间扩散器,由于构成相位控制单元的各单位衍射光栅的各个反射率被设定成使第 1 码片脉冲的强度、第 2 码片脉冲的强度以及第 k 码片脉冲的强度的合计 J 个码片脉冲的强度全部相等,因而只要把光脉冲输入到本发明的光脉冲时间扩散器中,所输出的所有码片脉冲的强度就全部一致。

[0080] 在利用光脉冲时间扩散器作为编码器的情况下,上述的码片脉冲串是使用设定在光脉冲时间扩散器内的光相位码对输入光脉冲进行编码来输出的脉冲串,因而有时也称为编码光脉冲串。详情后述,在从光脉冲时间扩散器输出的码片脉冲的强度全部相等的情况下,以及在利用光脉冲时间扩散器作为编码器和解码器的情况下,可把自相关波形的峰值与次峰值之比设定得较大,可提高信号识别的可靠性。

[0081] 本发明的另一光脉冲时间扩散器具有相位控制单元,该相位控制单元用于通过使用了光相位码的编码将光脉冲时间扩散为依次排列在时间轴上的码片脉冲串,生成并输出

该码片脉冲串,其特征在于,该相位控制单元将与构成上述光相位码的码值一一对应的单位衍射光栅按照第 1 至第 J 单位衍射光栅的顺序沿着光波导的导波方向从该光波导的入射端依次排列成一行, J 是大于等于 2 的整数;来自前后邻接且给出相等码值的 2 个上述单位衍射光栅的布拉格反射光的相位差由

[0082] $2M\pi$ (1) 给出, M 是整数,

[0083] 来自前后邻接且给出不同码值的 2 个上述单位衍射光栅的布拉格反射光的相位差由

[0084] $(2N+1)\pi$ (2) 给出, N 是整数,

[0085] 上述第 1 单位衍射光栅的反射率 R_1 由

[0086] $R_1 = P_c$ (a)

[0087] 给出,

[0088] 上述第 2 单位衍射光栅的反射率 R_2 由

[0089] $R_2 = P_c / (1-R_1)^2$ (b)

[0090] 给出,

[0091] 当 J 是大于等于 3 的整数,且把 k 设定为满足 $3 \leq k \leq J$ 的整数时,上述第 k 单位衍射光栅的反射率 R_k 由

[0092] $R_k = (P_c^{1/2} - P_k^{1/2})^2 / \{(1-R_1)^2 \cdot (1-R_2)^2 \cdot \dots \cdot (1-R_{k-1})^2\}$ (c-1)

[0093] $R_k = (P_c^{1/2} + P_k^{1/2})^2 / \{(1-R_1)^2 \cdot (1-R_2)^2 \cdot \dots \cdot (1-R_{k-1})^2\}$ (c-2)

[0094] 给出,

[0095] 其中, P_c 是作为从上述第 1 单位衍射光栅反射并从上述相位控制单元输出的上述第 1 码片脉冲的强度而设定的任意常数, P_k 是从上述相位控制单元第 k 个被输出的上述 3 次反射的码片脉冲的强度,并且,上述式 (c-1) 给出在从上述第 k 单位衍射光栅通过 1 次布拉格反射而生成并且第 k 个被输出的上述 1 次反射的码片脉冲与从上述单位衍射光栅通过 3 次布拉格反射而生成并且第 k 个被输出的上述 3 次反射的码片脉冲之间的相位差是 $2P\pi$ 的情况下的上述第 k 单位衍射光栅的反射率, P 是整数,上述式 (c-2) 给出在从上述第 k 单位衍射光栅通过 1 次布拉格反射而生成并且第 k 个被输出的上述 1 次反射的码片脉冲与从上述单位衍射光栅通过 3 次布拉格反射而生成并且第 k 个被输出的上述 3 次反射的码片脉冲之间的相位差是 $(2Q+1)\pi$ 的情况下的上述第 k 单位衍射光栅的反射率, Q 是整数。

[0096] 相位控制单元将 J 个单位衍射光栅从光波导的入射端向另一端依次附上第 1 至第 J 的编号来沿着光波导的导波方向排列成一行,第 1、第 2 和第 k 单位衍射光栅的各个反射率 R_1 、 R_2 和 R_k 被设定成由上述式 (a)、(b)、(c-1) 和 (c-2) 给出,从而如后所述,即使存在通过 3 次反射而生成的 3 次反射的码片脉冲,也能生成从相位控制单元输出的码片脉冲的强度全部相等的码片脉冲串。

[0097] 并且,只要将第 1 至第 J 单位衍射光栅依次排列来构成为使来自前后邻接且给出相等码值的 2 个单位衍射光栅的布拉格反射光的相位差、以及来自前后邻接且给出不同码值的 2 个单位衍射光栅的布拉格反射光的相位差分别由上述式 (1) 和式 (2) 给出,就能通过根据 2 值相位码将输入光脉冲进行时间扩散,将码片脉冲串作为编码光脉冲串来生成并输出。

[0098] 由于单位衍射光栅的周期性折射率调制结构的折射率调制强度使用窗函数来变

迹,因而布拉格反射集中发生在单位 FBG 的中央,结果,所生成的布拉格反射光的时间波形的半值宽变窄。即,由于期待构成编码光脉冲串的码片脉冲的半值宽变窄,因而期待可减少在时间轴上构成编码光脉冲串的码片脉冲之间的下部重合。只要能减少码片脉冲之间的下部重合,就能减少在时间轴上码片脉冲之间的下部重合的干涉效果。结果,可把自相关波形的峰值与次峰值之比设定得更大,可提高信号识别的可靠性。

[0099] 只要使用高斯误差函数进行变迹,就能根据高斯误差函数的性质在单位 FBG 的中央把折射率调制设定得极大。即,布拉格反射集中发生在单位 FBG 的中央,其结果,可使所生成的布拉格反射光的时间波形的半值宽变窄。

[0100] 由于光通信的传送路径使用光纤来构建,因而通过使排列有单位衍射光栅的光波导采用光纤,作为编码器和解码器设置在光通信系统内大多是方便的。

附图说明

[0101] 图 1 是对编码器和解码器的动作原理进行说明的图。

[0102] 图 2 是示出现有的光脉冲时间扩散器的相位控制单元的概略结构的图。

[0103] 图 3 是示出各单位 FBG 的反射率和来自各单位 FBG 的输出码片脉冲的强度的图。

[0104] 图 4 是对从光脉冲时间扩散器输出的码片脉冲串的时间波形进行说明的图。

[0105] 图 5 是示出关于从光脉冲时间扩散器输出的码片脉冲串的时间波形的模拟结果的图。

[0106] 图 6 是对单位 FBG 的反射率的计算方法进行说明的图。

[0107] 图 7 是示出现有的和本发明的相位控制单元的单位 FBG 的反射率的图。

[0108] 图 8 是示出第 1 实施例的光脉冲时间扩散器的相位控制单元的概略结构的图。

[0109] 图 9 是示出第 1 实施例的单位 FBG 的反射率和折射率调制大小 Δn 的关系的图。

[0110] 图 10 是示出从现有的和第 1 实施例的光脉冲时间扩散器输出的码片脉冲串的时间波形的图。

[0111] 图 11 是示出由第 1 实施例的光脉冲时间扩散器生成并输出的自相关波形的图。

[0112] 图 12 是示出第 2 实施例的光脉冲时间扩散器的相位控制单元的概略结构的图。

[0113] 图 13 是示出第 2 实施例的单位 FBG 的反射率和折射率调制大小 Δn 的关系的图。

[0114] 图 14 是示出从现有的和第 2 实施例的光脉冲时间扩散器输出的码片脉冲串的时间波形的图。

[0115] 图 15 是示出由第 2 实施例的光脉冲时间扩散器生成并输出的自相关波形的图。

具体实施方式

[0116] 以下,参照图对本发明的实施例进行说明。另外,各图示出根据本发明的一个结构例,只不过在能理解本发明的程度上概略示出各构成要素的断面形状和配置关系等,本发明不限于图示例。并且,在以下说明中,有时使用特定的材料和条件等,然而这些材料和条件只不过是优选例之一,对它们不作任何限定。

[0117] 另外,在以下说明中,提出了使用光纤来形成相位控制单元的情况,然而不限于光纤,也能使用平面型光波导等来形成。

[0118] < 单位 FBG 的反射率 >

[0119] 本发明的光脉冲时间扩散器是具有相位控制单元的光脉冲时间扩散器,该相位控制单元用于通过使用了光相位码的编码将光脉冲时间扩散为依次排列在时间轴上的码片脉冲串,生成并输出该码片脉冲串。本发明的光脉冲时间扩散器是把沿着光纤的导波方向排列单位 FBG 而构成的 SSFBG 用作相位控制单元的光脉冲时间扩散器。

[0120] 本发明的 SSFBG 的特征在于,与构成光相位码的码值一一对应的单位 FBG 沿着光波导的导波方向排列成一行,来自前后邻接的 2 个单位衍射光栅的布拉格反射光的相位差按如下来设定。

[0121] 来自前后邻接且给出相等码值的 2 个单位衍射光栅的布拉格反射光的相位差被设定为:

$$[0122] \quad 2M\pi \quad (1)$$

[0123] 并且,来自前后邻接且给出不同码值的 2 个单位衍射光栅的布拉格反射光的相位差被设定为:

$$[0124] \quad (2N+1)\pi \quad (2)$$

[0125] 其中, M 和 N 是整数。

[0126] 并且,本发明的 SSFBG 将单位衍射光栅的各个反射率设定成使构成所生成并输出的码片脉冲串的码片脉冲的强度全部相等。

[0127] 参照图 6,对计算单位衍射光栅的各个反射率以使码片脉冲强度全部相等的方法进行说明。图 6 是对单位衍射光栅即单位 FBG 的反射率的计算方法进行说明的图,是沿着相位控制单元即 SSFBG 60 的导波方向的示意性切断面图。SSFBG 60 将单位 FBG 按照第 1 至第 J 的顺序从入射端(图 6 中为左端)依次排列。把第 1 单位 FBG 设定为 FBG 1,换算成光相位并以 τ 间隔依次配置到单位 FBG J。

[0128] 一般情况下,当把相位 τ 换算成实际几何间隔 L 时, $\tau = (2\pi/\lambda)n_{\text{eff}}L$,因而 $L = \tau\lambda/(2\pi n_{\text{eff}})$ 。这里, n_{eff} 是光在光波导(在光纤中是芯)上传播时的有效折射率。在以下说明中,由于相位 τ 和换算成实际几何间隔的 $\tau\lambda/(2\pi n_{\text{eff}})$ 的值自身无需严格标记,因而仅标记为间隔 τ 等,而不预先说明是相位值或者把相位值换算成几何间隔的值。

[0129] 邻接的单位 FBG i 与单位 FBG(i+1) 的间隔 τ 由设定在相位控制单元即 SSFBG 60 内的光码来决定。并且,一般情况下,邻接的单位 FBG i 和单位 FBG(i+1) 的间隔 τ_i 与邻接的单位 FBG j 和单位 FBG(j+1) 的间隔 τ_j 不同, $\tau_i \neq \tau_j$ 。这里, i 和 j 分别是满足 $1 \leq i \leq (J-1)$ 和 $1 \leq j \leq (J-1)$ 的整数, $i \neq j$ 。然而,在以下说明中,由于无需识别 τ_i 和 τ_j ,因而不把邻接的单位 FBG i 和单位 FBG(i-1) 的间隔添加识别参数 i 来标记为 τ_j ,与参数 i 没有关系,而把邻接的单位 FBG 的间隔全部标记为 τ 。

[0130] 从 SSFBG 60 输出的第 1 码片脉冲和第 2 码片脉冲在时间轴上以把相位 2τ 换算成时间的间隔来排列。这根据以下理由。当光脉冲被输入到 SSFBG 60 中时,第 1 码片脉冲由 FBG 1 进行布拉格反射而输出,第 2 码片脉冲由 FBG 2 进行布拉格反射而输出。因此,第 2 码片脉冲延迟把在 FBG 1 与 FBG 2 之间往复的相位 2τ 换算成时间的间隔。即,邻接的第 i 码片脉冲和第 (i+1) 码片脉冲在时间轴上以把相位 2τ 换算成时间的间隔来排列。

[0131] 一般情况下,当把相位 τ 换算成时间 t 时, $2\pi(n_{\text{eff}}c/\lambda)t = \tau$,因而 $t = \tau\lambda/(2\pi n_{\text{eff}}c)$ 。这里, n_{eff} 是光在光波导(在光纤中是芯)上传播的最有效折射率, c 是真空中

的光速度。在以下说明中,由于相位 τ 和把相位换算成时间的 $\tau \lambda / (2 \pi n_{\text{eff}})$ 的值自身无需严格标记,因而不预先说明是相位值或者把相位值换算成时间的值,在该情况下标记为间隔 τ 或者延迟时间 τ 等。

[0132] SSFBG 60 如图 6 所示,将 J 个单位衍射光栅从光波导的入射端即一端向另一端依次附上第 1 至第 J 的编号来沿着光波导的导波方向排列成一行。第 1、第 2 和第 k 单位衍射光栅的各个反射率 R_1 、 R_2 和 R_k 被设定成由下式给出,从而可使所输出的码片脉冲强度全部相等。

$$[0133] \quad R_1 = P_c / P_{\text{in}} \quad (\text{a}') \quad (a')$$

$$[0134] \quad R_2 = P_c / (1 - R_1)^2 \quad (\text{b})$$

$$[0135] \quad R_k = (P_c^{1/2} - P_k^{1/2})^2 / \{(1 - R_1)^2 \cdot (1 - R_2)^2 \cdot \dots \cdot (1 - R_{k-1})^2\} \quad (\text{c-1})$$

$$[0136] \quad R_k = (P_c^{1/2} + P_k^{1/2})^2 / \{(1 - R_1)^2 \cdot (1 - R_2)^2 \cdot \dots \cdot (1 - R_{k-1})^2\} \quad (\text{c-2})$$

[0137] 其中, P_{in} 是输入给相位控制单元的光脉冲的强度,当标准化为 $P_{\text{in}} = 1$ 时,上述式 (a) 由

$$[0138] \quad R_1 = P_c (\text{常数}) \quad (\text{a})$$

[0139] 给出。正如容易明白 R_1 是反射率那样,式 (a') 保留参数 P_{in} 来表现,然而第 2 和第 k 单位衍射光栅的各个反射率 R_2 和 R_k 如后所述,标准化为 $P_{\text{in}} = 1$ 来表现。

[0140] 常数 P_c 是作为从第 1 单位衍射光栅反射并从相位控制单元输出的码片脉冲的强度而设定的值,在本发明中,各单位衍射光栅的反射率被设定成使从相位控制单元输出的码片脉冲的强度全部等于该值。

[0141] P_k 是从相位控制单元输出的 3 次反射的码片脉冲的强度。并且,式 (c-1) 和 (c-2) 给出在通过 1 次反射而生成并且第 k 个被输出的 1 次反射的码片脉冲与通过 3 次反射而生成并且第 k 个被输出的 3 次反射的码片脉冲的相位差是 0 (同相位) 和 π (反相位) 的情况下的各个第 k 单位衍射光栅的反射率。

[0142] 通过 1 次反射而生成的码片脉冲与通过 3 次反射而生成的码片脉冲的相位差是 0 (同相位) 和 π (反相位) 的情况,如果一般标记,则分别是把 P 设定为整数而为 $2P\pi$ 的情况和把 Q 设定为整数而为 $(2Q+1)\pi$ 的情况。然而在以下讨论中,即使设定为 $P = Q = 0$,也在讨论内容中不失其一般性,因而通过 1 次反射而生成的码片脉冲与通过 3 次反射而生成的码片脉冲是同相位和反相位 (相位差是 π) 的情况分别认为是两者的相位差是 0 的情况和是 π 的情况。

[0143] 如上所述,通过设定单位衍射光栅的各个反射率来使构成所生成并输出的码片脉冲串的码片脉冲的强度全部相等的理由在以下进行说明。

[0144] 当强度是 P_{in} 的光脉冲被输入到 SSFBG 60 中时,由 FBG 1 产生布拉格反射,生成并输出强度是 P_c 的第 1 码片脉冲。此时,FBG 1 的反射率 R_1 由 $R_1 = P_c / P_{\text{in}}$ 给出。第 2 码片脉冲是通过 FBG 2 中的布拉格反射而生成的码片脉冲。该第 2 码片脉冲的生成过程如下。

[0145] 即,强度是 P_{in} 的光脉冲被输入到 SSFBG 60,通过 FBG 1 由 FBG 2 进行布拉格反射,再次通过 FBG 1 被输出。由于强度是 P_{in} 的光脉冲最初通过 FBG 1,因而其强度为 $(1 - R_1)P_{\text{in}}$,当由 FBG 2 进行了布拉格反射时,其强度为 $(1 - R_1) \cdot R_2 \cdot P_{\text{in}}$ 。由于该光脉冲再次通过 FBG 1,因而其强度为 $(1 - R_1) \cdot R_2 \cdot (1 - R_1) \cdot P_{\text{in}} = (1 - R_1)^2 \cdot R_2 \cdot P_{\text{in}}$ 。由于该强度 $(1 - R_1)^2 \cdot R_2 \cdot P_{\text{in}}$ 等于 P_c 是条件,因而 $(1 - R_1)^2 \cdot R_2 \cdot P_{\text{in}} = P_c$,即,FBG 2 的反射率 R_2 由 $R_2 = P_c / \{(1 - R_1)^2 \cdot P_{\text{in}}\}$

给出。

[0146] 这里,为使以下的计算简单,把输入光脉冲的强度 P_{in} 标准化为 1 来进行说明。通过设定为 $P_{in} = 1$,得到 $R_2 = P_c / \{(1-R_1)^2 \cdot P_{in}\} = P_c / (1-R_1)^2$ 。第 1、第 2 和第 k 单位衍射光栅的各个反射率 R_1 、 R_2 和 R_k 是最终不依赖于输入光脉冲的强度 P_{in} 而确定的值,通过把输入光脉冲的强度 P_{in} 标准化为 1,不会使计算结果受到影响。

[0147] 然后,求出 FBG 3 的反射率 R_3 。通过在 FBG 3 中发生 1 次布拉格反射而输出的所谓的通过 1 次反射而生成并且第 3 个被输出的 1 次反射的码片脉冲的强度 P_3' 由下式 (3) 给出。

$$[0148] \quad P_3' = (1-R_1)^2 \cdot (1-R_2)^2 \cdot R_3 \quad (3)$$

[0149] 与该 1 次反射的码片脉冲重合的 3 次反射的码片脉冲的强度 P_3 由下式 (4) 给出。

$$[0150] \quad P_3 = (R_2^2 \cdot R_1) \cdot (1-R_1)^2 \quad (4)$$

[0151] 该 3 次反射的码片脉冲是透过 FBG 1 (透过率 $1-R_1$),由 FBG 2 进行布拉格反射 (反射率 R_2 ,第 1 次反射),由 FBG 1 进行布拉格反射 (反射率 R_1 ,第 2 次反射),再由 FBG 2 进行布拉格反射 (反射率 R_2 ,第 3 次反射),透过 FBG 1 (透过率 $1-R_1$) 而输出的码片脉冲。

[0152] 即,假定输入光脉冲的强度为 1,当透过 FBG 1 时,其强度为 $(1-R_1)$ 。当强度是 $(1-R_1)$ 的光脉冲由 FBG 2 进行布拉格反射时,该反射光的强度为 $(1-R_1) \times R_2$ 。当强度是 $(1-R_1) \times R_2$ 的光脉冲由 FBG 1 进行第 2 次布拉格反射时,其强度为 $(1-R_1) \times R_2 \times R_1$ 。当强度是 $(1-R_1) \times R_2 \times R_1$ 的光脉冲由 FBG 2 进行第 3 次布拉格反射时,其强度为 $(1-R_1) \times R_2 \times R_1 \times R_2$ 。当强度是 $(1-R_1) \times R_2 \times R_1 \times R_2$ 的光脉冲透过 FBG 1 时,其强度为 $(1-R_1) \times R_2 \times R_1 \times R_2 \times (1-R_1)$ 。

[0153] 因此,与第 3 个被输出的 1 次反射的码片脉冲重合的 3 次反射的码片脉冲的强度 P_3 为 $(1-R_1) \times R_2 \times R_1 \times R_2 \times (1-R_1) = (R_2^2 \cdot R_1) \cdot (1-R_1)^2$,得到式 (4)。

[0154] 在 1 次反射的码片脉冲与 3 次反射的码片脉冲是同相位 (相位差是 0) 的情况下,1 次反射的码片脉冲与 3 次反射的码片脉冲重合的结果生成的码片脉冲的强度由两码片脉冲的振幅之和的平方给出。即,通过 1 次反射而生成并且第 3 个被输出的码片脉冲的强度 P_3' 的振幅是 $P_3'^{1/2}$,通过 3 次反射而生成的码片脉冲的强度 P_3 的振幅是 $P_3^{1/2}$,因而通过 1 次反射而生成的码片脉冲与通过 3 次反射而生成的码片脉冲重合的结果生成的码片脉冲的强度由下式 (5)

$$[0155] \quad (P_3'^{1/2} + P_3^{1/2})^2 \quad (5)$$

[0156] 给出。

[0157] 并且,在 1 次反射的码片脉冲与 3 次反射的码片脉冲是反相位 (相位差是 π) 的情况下,由两码片脉冲的振幅之差的平方给出。因此,在该情况下,通过 1 次反射而生成的码片脉冲与通过 3 次反射而生成的码片脉冲重合的结果生成的码片脉冲的强度由下式 (6)

$$[0158] \quad (P_3'^{1/2} - P_3^{1/2})^2 \quad (6)$$

[0159] 给出。

[0160] 由于 1 次反射的码片脉冲与 3 次反射的码片脉冲以同相位重合的结果生成的码片脉冲的强度由式 (5),即 $(P_3'^{1/2} + P_3^{1/2})^2$ 给出,因而该值与从第 1 单位衍射光栅反射而输出的码片脉冲的强度 P_c 相等,是所输出的码片脉冲串强度一致的条件。

[0161] 即, $P_c = (P_3'^{1/2} + P_3^{1/2})^2$ 是所输出的码片脉冲串强度一致的条件。当对其进行

变形时,得到 $P_3' = (P_c^{1/2} + P_3^{1/2})^2$ 。由于第 3 个被输出的 1 次反射的码片脉冲的强度 P_3' 由式 (3) 给出,因而把式 (3) 代入该式,得到下式 (7)。

$$[0162] \quad (1-R_1)^2 \cdot (1-R_2)^2 \cdot R_3 = (P_c^{1/2} - P_3^{1/2})^2 \quad (7)$$

[0163] 因此,得到

$$[0164] \quad R_3 = \{(P_c^{1/2} - P_3^{1/2})^2\} / \{(1-R_1)^2 \cdot (1-R_2)^2\} \quad (8)$$

[0165] 同样,在 1 次反射的码片脉冲与 3 次反射的码片脉冲是反相位 (相位差是 π) 的情况下,得到

$$[0166] \quad R_3 = \{(P_c^{1/2} + P_3^{1/2})^2\} / \{(1-R_1)^2 \cdot (1-R_2)^2\} \quad (8')$$

[0167] 下面,对从 SSFBG 60 输出的第 4 码片脉冲以后的码片脉冲的强度进行探讨。表 2 一览示出从 SSFBG 60 输出的第 4 码片脉冲以后的码片脉冲中的通过 3 次反射而生成的码片脉冲的生成相关的单位 FBG。

[0168] 【表 2】

[0169]

延迟时间	编码脉冲串	单位 FBG 反射组合
------	-------	-------------

[0170]

		第 1	第 2	第 3
$4 \times \tau$	第 3 码片	R_2	R_1	R_2
$6 \times \tau$	第 4 码片	R_2	R_1	R_3
		R_3	R_1	R_2
		R_3	R_2	R_3
$8 \times \tau$	第 5 码片	R_2	R_1	R_4
		R_3	R_1	R_3
		R_3	R_2	R_4
		R_4	R_1	R_2
		R_4	R_2	R_3
		R_4	R_3	R_4
.				

[0171] 第 4 码片脉冲与第 1 码片脉冲之间具有 6τ 的延迟时间而输出。并且,第 5 码片脉冲与第 1 码片脉冲之间具有 8τ 的延迟时间而输出。以下,关于第 6 码片脉冲以后的码片脉冲,可进行同样整理。

[0172] 通过 1 次反射而生成并且第 4 个被输出的第 4 码片脉冲是由 FBG 4 进行布拉格反射而生成的码片脉冲。并且,通过 3 次反射而生成并且第 4 个被输出的码片脉冲,如表 2 所示,经过 3 种反射路径被输出。例如,在表 2 的针对第 4 个被输出的码片脉冲而汇总的栏的最上段,作为第 1、第 2 和第 3 分别表示为 R_2 、 R_1 、 R_3 。这意味着是按照 FBG 2、FBG 1、FBG3 的顺序反射并输出的码片脉冲。关于其他 2 种也是一样。

[0173] 由于邻接的单位 FBG 间的间隔 τ 是 0 或 π ,因而通过 1 次反射而生成并输出的码片脉冲与通过 3 次反射而生成并输出的码片脉冲的相位差也为 0 或 π 。这是根据以下理由。

[0174] 第 3、第 4 和第 5 个被输出的码片脉冲与第 1 个被输出的码片脉冲的延迟时间差,如表 2 所示,分别是 4τ 、 6τ 、 8τ 。例如在延迟时间差是 4τ 的第 3 码片脉冲的情况下,从 $4\tau = \tau + \tau + \tau + \tau = 0 + 0 + 0 + 0 = 0$ 的组合,包含 $4\tau = \tau + \tau + \tau + \tau = \pi + 0 + 0 + 0 = \pi$ 、 $4\tau = \tau + \tau + \tau + \tau = \pi + \pi + \pi + 0 = 3\pi$ 的组合等,到 $4\tau = \tau + \tau + \tau + \tau = \pi + \pi + \pi + \pi = 4\pi$ 有 $2^4 (= 16)$ 种组合,在其中任意一种情况下,当把延迟时间差视为相位差时,为 0 (同

相位) 或 π (反相位) 的任何一方。即, 这是因为, 当 2π 和 4π 视为相位差时, 与 0 等同, 当 3π 视为相位差时, 与 π 等同。在延迟时间差是 6τ 、 8τ 等的情况下也是一样。

[0175] 另一方面, 对通过 1 次反射而生成的码片脉冲的情况进行探讨, 在第 3、第 4 和第 5 个被输出的码片脉冲的情况下, 与第 1 个被输出的码片脉冲之间的延迟时间差与上述的 3 次反射的码片脉冲一样分别是 4τ 、 6τ 、 8τ 。然而, 对于通过 1 次反射而生成并输出的码片脉冲与通过 3 次反射而生成并输出的码片脉冲, 路径是不同的。例如, 通过 1 次反射而生成并输出且是第 4 个被输出的码片脉冲的路径透过 FBG 1 至 FBG 3, 由 FBG4 反射, 透过 FBG 3 至 FBG 1 被输出。相比之下, 通过 3 次反射而生成并输出且是第 4 个被输出的码片脉冲的路径, 如表 2 所示, 在与 1 次反射的码片脉冲不同的 3 种路径上传播而输出。

[0176] 因此, 由于该路径的不同而发生通过 1 次反射而生成并输出的码片脉冲与通过 3 次反射而生成并输出的码片脉冲的相位差是 0 的情况和是 π 的情况。

[0177] 一般情况下, 关于第 k 码片脉冲, 进行同样探讨而导出 FBG k 的反射率 R_k 由上述式 (c-1) 和 (c-2) 给出。即, 通过 1 次反射而生成并输出的 1 次反射的码片脉冲的强度 P_k' 由:

$$[0178] \quad P_k' = (1-R_1)^2 \cdot (1-R_2)^2 \cdot \dots \cdot (1-R_{k-1})^2 \cdot R_k \quad (9)$$

[0179] 给出。并且, 与该通过 1 次反射而生成并输出且是第 k 个被输出的码片脉冲重合的通过 3 次反射而生成并输出的 3 次反射的码片脉冲的个数 N_k 为

$$[0180] \quad N_k = N_{k-1} + (k-2) \quad (10)$$

[0181] N_k 个码片脉冲的强度的干涉结果为 3 次反射码片脉冲强度 P_k 。

[0182] 在通过 1 次反射而生成并输出的码片脉冲与通过 3 次反射而生成并输出的码片脉冲是同相位和反相位的情况下, 通过 1 次反射而生成并输出的码片脉冲与通过 3 次反射而生成并输出的码片脉冲重合的结果生成的码片脉冲的强度分别由

$$[0183] \quad (P_k'^{1/2} + P_k^{1/2})^2 \quad (11), \text{ 和}$$

$$[0184] \quad (P_k'^{1/2} - P_k^{1/2})^2 \quad (11')$$

[0185] 给出。

[0186] 这些值与从 FBG 1 反射并输出的码片脉冲的强度 P_c 相等是所输出的码片脉冲串中强度一致的条件。由于该强度一致的条件为 $P_c = (P_k'^{1/2} + P_k^{1/2})^2$ 和 $P_c = (P_k'^{1/2} - P_k^{1/2})^2$, 因而根据式 (9), 得到

$$[0187] \quad P_k' = (P_c^{1/2} - P_k^{1/2})^2 = (1-R_1)^2 \cdot (1-R_2)^2 \cdot \dots \cdot (1-R_{k-1})^2 \cdot R_k, \text{ 和}$$

$$[0188] \quad P_k' = (P_c^{1/2} + P_k^{1/2})^2 = (1-R_1)^2 \cdot (1-R_2)^2 \cdot \dots \cdot (1-R_{k-1})^2 \cdot R_k$$

[0189] 因此, 得到

$$[0190] \quad R_k = (P_c^{1/2} - P_k^{1/2})^2 / \{(1-R_1)^2 \cdot (1-R_2)^2 \cdot \dots \cdot (1-R_{k-1})^2\} \quad (c-1), \text{ 和}$$

$$[0191] \quad R_k = (P_c^{1/2} + P_k^{1/2})^2 / \{(1-R_1)^2 \cdot (1-R_2)^2 \cdot \dots \cdot (1-R_{k-1})^2\} \quad (c-2)$$

[0192] 根据求出上述第 1、第 2 和第 k 单位衍射光栅的各个反射率 R_1 、 R_2 和 R_k 的探讨结果, 以设定码长是 15 的光相位码的情况为例进行具体说明。即, 对设定为 $J = 15$ 的情况的例子进行说明。

[0193] 参照图 7(A) 和 (B), 对在现有的 SSFBG 和本发明的 SSFBG 中, 从配置在入射端的单位 FBG 沿着导波方向依次如何设定构成各个 SSFBG 的单位 FBG 的反射率进行说明。

[0194] 图 7(A) 示出设定码 (0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 0, 1, 0, 1, 1, 0, 0, 1) 的情况, 图 7(B) 示出设

定码 (1,0,0,1,1,0,1,0,1,1,1,1,0,0,0) 的情况。上述两码的排列具有左右相反的关系。即,分别设定有上述两码的 SSFBG 在把一方用作编码器的情况下,另一方作为解码器执行功能。

[0195] 图 7(A) 和 (B) 是示出构成现有和本发明的相位控制单元即 SSFBG 的单位 FBG 的反射率的图。图 7(A) 和 (B) 的横轴表示单位 FBG 编号。配置在横轴上最左侧的 1 的位置上的单位 FBG 是 FBG 1,依次配置为 FBG 2、FBG 3,配置在最右侧的 15 的位置上的单位 FBG 是 FBG 15。纵轴表示各单位 FBG 的反射率。在图 7(A) 和 (B) 中,白圈表示现有的 SSFBG 的情况,黑圈表示本发明的 SSFBG 的情况。

[0196] 在图 7(A) 和 (B) 中,在现有的 SSFBG 的情况下,所设置的单位 FBG 的反射率被设定成从光脉冲的入射端即左端依次单调增大。这是考虑到输入到 SSFBG 中的光脉冲每次通过单位 FBG 时其强度都减少,为了使来自各单位 FBG 的布拉格反射光的强度相等,以从入射端即左端依次增大该反射率的方针为基础。然而,如已说明那样,从 SSFBG 输出的码片脉冲不限于从各单位 FBG 通过 1 次反射而生成并输出的码片脉冲,还包含通过奇数次 (3 次) 反射而生成并输出的码片脉冲。因此,为了作为以均等强度进行了时间扩散的码片脉冲串从 SSFBG 输出,仅配置沿着光纤的导波方向反射率逐渐大的单位 FBG 是不够的。

[0197] 因此,考虑到从 SSFBG 输出的码片脉冲除了从各单位 FBG 通过 1 次反射而生成并输出以外,还包含通过 3 次反射而生成并输出的码片脉冲来决定各单位 FBG 的反射率,这种根据本发明求出各单位 FBG 的反射率的结果在图 7(A) 和 (B) 中由黑圈表示。由黑圈表示的反射率是使用考虑了通过 3 次反射而生成的码片脉冲的式 (a)、式 (b)、式 (c-1) 和式 (c-2) 来计算的。

[0198] 在图 7(A) 和 (B) 中由黑圈表示的反射率与现有的 SSFBG 的情况相比,各单位 FBG 的反射率不是单纯增大。并且,由于所设定的码不同,因而针对各单位 FBG 而设定的反射率也如图 7(A) 和 (B) 所示,不相同。即,在把本发明的 SSFBG 用作编码器和解码器的情况下,意味着不能像利用现有的 SSFBG 的情况那样,仅使输入端单纯地左右相反,就作为编码器和解码器执行功能。即,在把本发明的 SSFBG 用作编码器和解码器的情况下,编码器和解码器有必要分别使用式 (a)、式 (b)、式 (c-1) 和式 (c-2) 来计算各单位 FBG 的反射率。

[0199] 作为本发明的光脉冲时间扩散器的相位控制单元,如上所述,考虑甚至通过 3 次反射而生成并输出的码片脉冲的存在来决定沿着光波导的导波方向排列成一系列的单位衍射光栅的反射率。当然,也存在通过 5 次以上的奇数次的复用反射而生成并输出的码片脉冲,然而如后所述,可以明确,考虑甚至通过 3 次反射而生成并输出的码片脉冲的存在就足够了。

[0200] 以下对根据使用上述式 (a)、(b)、(c-1) 和 (c-2) 求出的反射率来设定各单位衍射光栅的折射率调制大小 Δn 、并调查所输出的码片脉冲串的特性的结果进行说明。

[0201] < 第 1 实施例 >

[0202] 参照图 8(A)、(B) 和 (C) 对作为第 1 实施例的光脉冲时间扩散器的相位控制单元即 SSFBG 40 的结构进行说明。图 8(A) 是 SSFBG 40 的示意性切断面图,构成为将 15 个单位 FBG 沿着光纤 46 的光波导即芯 44 的导波方向串联配置在具有芯 44 和包层 42 的光纤 46 的芯 44 上。

[0203] 图 8(B) 是概略示出图 8(A) 所示的 SSFBG 40 的折射率调制结构的图。图 8(B) 的

横轴表示光纤的长度方向的位置坐标,纵轴以光纤的有效折射率 n_{eff} 为中心表示折射率调制大小 Δn 。关于其他方面,图 8(A)、(B) 和 (C) 使用与图 2(A)、(B) 和 (C) 相同的方法来表示。

[0204] 并且,图 8(C) 将图 8(B) 所示的单位 FBG 的折射率调制结构局部放大来示出。设定在 SSFBG 40 内的码是 (0,0,0,1,1,1,1,0,1,0,1,1,0,0,1)。如图 7(A) 由黑圈符号所示,设置在 SSFBG 40 内的各单位 FBG 的反射率不具有随着从入射端进到内部而单调增大的单纯关系,因而图 8(B) 所示的单位 FBG 所示的折射率调制大小 Δn 也读取为沿着光纤的长度方向的位置坐标复杂变化。

[0205] 参照图 9,对配置在第 1 实施例的 SSFBG 内的单位 FBG 的反射率与折射率调制大小 Δn 的关系进行说明。图 9 是示出第 1 实施例的单位 FBG 的反射率与单位 FBG 的折射率调制大小 Δn 的关系的图,横轴表示反射率,纵轴表示折射率调制大小 Δn 。这里,假定单位 FBG 的长度为 2.4mm,光纤的有效折射率的平均值是 1.4473,以及单位 FBG 的折射率调制周期 Λ 是 535.5nm。因此,由 $2n_{\text{eff}} \times \Lambda$ 给出的布拉格反射光的波长 λ 是 1550nm。

[0206] 使用图 9 所示的单位 FBG 的反射率与单位 FBG 的折射率调制大小 Δn 的关系,可得知与本发明的使用式 (a)、式 (b)、式 (c-1) 和式 (c-2) 求出的各单位 FBG 的反射率 R_k (k 是 1 至 15 的整数) 对应的 Δn 。因此,由于针对各单位 FBG 确定 Δn ,因此,只要从 FBG 1 到 FBG 15 依次对应来形成 SSFBG 即可。

[0207] 参照图 10(A) 和 (B),对第 1 实施例的 SSFBG 的编码特性进行说明。图 10(A) 示出由现有型的 SSFBG 对单一光脉冲进行编码并输出的码片脉冲的时间波形。图 10(B) 示出由第 1 实施例的 SSFBG 对单一光脉冲进行编码并输出的码片脉冲的时间波形。图 10(A) 和 (B) 的横轴是时间轴,以 ps(皮秒) 为单位按刻度来表示。并且,纵轴以任意刻度表示光信号强度。

[0208] 可知从图 10(A) 所示的现有型的 SSFBG 输出的码片脉冲的强度的最大与最小之差 A 比从图 10(B) 所示的第 1 实施例的 SSFBG 输出的码片脉冲的强度的最大与最小之差 B 大 5 倍左右($A/B \approx 5$)。即,意味着,根据第 1 实施例的 SSFBG,所输出的码片脉冲的强度一致。

[0209] 参照图 11(A) 至 (C),对通过将由第 1 实施例的 SSFBG 暂时编码的光脉冲进行解码所获得的自相关波形进行说明。这里,设定在编码器内的编码是 (0,0,0,1,1,1,1,0,1,0,1,1,0,0,1),针对编码器的各单位 FBG 而设定的反射率如图 7(A) 所示。并且,设定在解码器内的码是码 (1,0,0,1,1,0,1,0,1,1,1,1,0,0,0),与设定在编码器内的码左右相反。针对解码器的各单位 FBG 而设定的反射率如图 7(B) 所示。

[0210] 在图 11(A) 至 (C) 中,横轴是时间轴,纵轴以任意刻度表示信号强度。图 11(A) 的横轴以任意刻度表示,图 11(B) 和 (C) 的横轴以 ps(皮秒) 为单位按刻度表示。图 11(A) 示出根据码逻辑计算并求出理想解码的情况下的自相关波形的结果。图 11(B) 示出由现有的 SSFBG 进行了编码和解码的情况下的自相关波形,并且图 11(C) 示出由第 1 实施例的 SSFBG 进行了编码和解码的情况下的自相关波形。

[0211] 期望的是,自相关波形被生成为使侧峰值尽可能小。即,由于解码器再现编码前的光脉冲,因而再现为单一光脉冲是理想的。即,由于自相关波形的峰值与次峰值之比是信噪比 (S/N 比),因而是越大越好的特性。

[0212] 如图 11(A) 所示,在进行了理想解码的情况下,自相关波形的峰值与次峰值之比

是 25, 该值是逻辑极限值。相比之下, 由现有的 SSFBG 进行了编码和解码的情况下的自相关波形, 如图 11 (B) 所示, 自相关波形的峰值与次峰值之比是 18.2。并且, 由第 1 实施例的 SSFBG 进行了编码和解码的情况下的自相关波形, 如图 11 (B) 所示, 自相关波形的峰值与次峰值之比是 21.5。即, 意味着, 根据第 1 实施例的 SSFBG, 可生成 S/N 比大的自相关波形。由此, 通过采用第 1 实施例的 SSFBG 光脉冲时间扩散器作为 OCDM 的编码器和解码器, 与采用现有的 SSFBG 光脉冲时间扩散器的情况相比, 可构建能确保高的可靠性的系统。

[0213] < 第 2 实施例 >

[0214] 参照图 12 (A)、(B) 和 (C), 对作为第 2 实施例的光脉冲时间扩散器的相位控制单元的 SSFBG 50 的结构进行说明。图 12 (A) 是 SSFBG50 的示意性切断面图, 构成为将 15 个单位 FBG 沿着光纤 56 的光波导即芯 54 的导波方向串联配置在具有芯 54 和包层 52 的光纤 56 的芯 54 内。由于仅 SSFBG 50 的折射率调制结构不同, 而其他部分与第 1 实施例的 SSFBG 40 相同, 因而省略其重复说明。设置在第 2 实施例的 SSFBG 50 内的光相位码也与设定在第 1 实施例的 SSFBG 40 内的光相位码相同。关于其他方面, 图 12 (A)、(B) 和 (C) 使用与图 2 (A)、(B) 和 (C) 相同的方法来表示。

[0215] SSFBG 50 的折射率调制结构与第 1 实施例的 SSFBG 40 的折射率调制结构的不同点是, 构成 SSFBG 50 的单位 FBG 的周期性折射率调制结构的折射率调制强度使用窗函数来变迹。在第 2 实施例中, 该窗函数采用高斯误差函数。

[0216] 参照图 12 (C), 说明使用窗函数将单位 FBG 的周期性折射率调制结构的折射率调制强度进行变迹的方法。

[0217] 进行变迹前的单位 FBG 的周期性折射率调制结构, 如图 12 (C) 的最右侧所示, 振幅由 $\Delta n/2$ 给出并沿着光纤的光导波方向 (x 方向) 是恒定的。即, 进行变迹前的单位 FBG 的周期性折射率调制结构由下式 (3) 给出。

$$[0218] \quad (\Delta n/2) \cdot \sin(2\pi x/\Lambda) \quad (3)$$

[0219] 这里, x 是光纤的长度方向的位置坐标。

[0220] 将具有由将下式 (4) 给出的窗函数与式 (3) 相乘后的新函数给出的周期性折射率调制结构的单位 FBG 称为使用由式 (4) 给出的函数进行了变迹的单位 FBG。

$$[0221] \quad \exp[-\ln 2 [2(x-(L/2))/LB]^2] \quad (4)$$

[0222] 这里, $\ln 2$ 意味着 2 的自然对数。并且, exp 意味着以自然对数的底为指数的指数函数。这里, 与第 1 实施例一样, 假定单位 FBG 的长度 L 为 2.4mm, 光纤的有效折射率的平均值是 1.4473, 以及单位 FBG 的折射率调制周期 Λ 是 535.5nm。因此, 由 $\lambda = 2n_{\text{eff}} \times \Lambda$ 给出的布拉格反射光的波长 λ 是 1550nm。并且, B 是频带调整用的系数, 这里, 设定为 B = 0.5。

[0223] 通过进行变迹, 布拉格反射集中发生在单位 FBG 的中央, 结果, 所生成的布拉格反射光的时间波形的半值宽变窄。即, 由于构成编码光脉冲串的码片脉冲的半值宽变窄, 因而可减少在时间轴上构成编码光脉冲串的码片脉冲之间的下部重合。只要能减少码片脉冲之间的下部重合, 就能减少在时间轴上由码片脉冲之间的下部重合引起的干涉效果。结果, 与使用第 1 实施例的光脉冲时间扩散器来进行编码和解码的情况相比, 可期待码片脉冲的强度差减小。

[0224] 另外, 与式 (4) 相当的用于进行变迹的函数不限于高斯误差函数。只要是能变迹成使由式 (3) 给出的单位 FBG 的周期性折射率调制结构的振幅大小在单位 FBG 的中央部分

为最大的函数,就能应用。例如,也能利用升余弦 (Raised cosine)、双曲正切 (Tanh)、勃勒克曼 (Blackman)、汉明 (Hamming)、汉宁 (Hanning) 等的在信号处理技术领域中的函数。

[0225] 这里,对求出各单位 FBG 的折射率调制大小 Δn 的方法进行说明。因此,有必要确认应针对各单位 FBG 而设定的反射率。该反射率的求法由于在第 1 实施例中已说明,因而这里省略。在第 2 实施例中,设置在 SSFBG 50 内的码是与设定在第 1 实施例的 SSFBG 40 内的码相同的码。因此,应针对各单位 FBG 而设定的反射率与第 1 实施例的情况相同。

[0226] 因此,有要求出第 2 实施例的情况下的针对各单位 FBG 而设定的反射率与折射率调制大小 Δn 的关系。与图 9 相同的图 13 示出该关系。图 13 示出针对使用由上述式 (4) 给出的高斯误差函数进行了变迹的长度 L 是 2.4mm 的单位 FBG,其反射率与折射率调制大小 Δn 的关系。图 13 的横轴表示单位 FBG 的反射率,纵轴表示折射率调制大小 Δn 。可使用图 13 所示的关系,确认针对各单位 FBG 而设定的折射率调制大小 Δn ,生成第 2 实施例的 SSFBG 50。

[0227] 参照图 14(A) 和 (B),对第 2 实施例的 SSFBG 的编码特性进行说明。设定在第 2 实施例的 SSFBG 内的编码与第 1 实施例相同,是 (0,0,0,1,1,1,1,0,1,0,1,1,0,0,1)。图 14(A) 示出由现有型的 SSFBG 对单一光脉冲进行编码并输出的码片脉冲的时间波形。图 14(B) 示出由第 2 实施例的 SSFBG 对单一光脉冲进行编码并输出的码片脉冲的时间波形。图 14(A) 和 (B) 的横轴是时间轴,以 ps(皮秒)为单位按刻度表示。并且,纵轴以任意刻度表示光信号强度。

[0228] 可知从图 14(A) 所示的现有型的 SSFBG 输出的码片脉冲的强度的最大与最小之差 A 比从图 14(B) 所示的第 2 实施例的 SSFBG 输出的码片脉冲的强度的最大与最小之差 C 大 5 倍左右。即,意味着,根据第 2 实施例的光脉冲时间扩散器,所输出的码片脉冲的强度一致。

[0229] 并且,如上所述,可知根据第 2 实施例的 SSFBG,在时间轴上构成编码光脉冲串的码片脉冲之间的下部重合减少。即,邻接的码片脉冲间的干涉减小,各码片脉冲明显分离。这意味着输入光脉冲被均匀扩散在时间轴上的扩散时间内。这样,输入光脉冲被均匀扩散在时间轴上的扩散时间内,从而产生下述优点。

[0230] 参照图 15(A) 至 (C),对通过对由第 2 实施例的 SSFBG 暂时编码的光脉冲进行解码所获得的自相关波形进行说明。这里,设定在编码器内的码是 (0,0,0,1,1,1,1,0,1,0,1,1,0,0,1),针对编码器的各单位 FBG 而设定的反射率如图 7(A) 所示。并且,设定在解码器内的码是码 (1,0,0,1,1,0,1,0,1,1,1,1,0,0,0),与设定在编码器内的码左右相反。针对解码器的各单位 FBG 而设定的反射率如图 7(B) 所示。

[0231] 期望的是,自相关波形被生成为使侧峰值尽可能小。即,由于解码器再现编码前的光脉冲,因而再现为单一光脉冲是理想的。

[0232] 图 15(A) 示出由现有型的 SSFBG 生成并输出的自相关波形,是与上述的图 11(B) 相同的图。图 15(B) 示出由第 2 实施例的 SSFBG 生成并输出的自相关波形。图 15(A) 和 (B) 的横轴是时间轴,以 ps(皮秒)为单位按刻度来表示。并且,纵轴以任意刻度表示光信号强度。

[0233] 由图 15(A) 所示的现有型的 SSFBG 生成并输出的自相关波形的峰值与次峰值之比

是 18.2, 相比之下, 由图 15(B) 所示的第 2 实施例的 SSFBG 生成并输出的自相关波形的峰值与次峰值之比是 25.9 而较大。该值大于由第 1 实施例的 SSFBG 生成并输出的自相关波形的峰值与次峰值之比 21.5。

[0234] 并且, 如图 11(A) 所示, 进行了理想解码的情况下的自相关波形的峰值与次峰值之比是 25, 比不进行变迹的情况的理想数值大。这是以图 11(A) 所示的自相关波形的峰值与次峰值之比不在各 FBG 进行变迹为前提来计算的, 由图 15(B) 所示的第 2 实施例的 SSFBG 生成并输出的自相关波形的峰值与次峰值之比是 25.9 而较大, 这表示进行变迹的效果大小。

[0235] 由于自相关波形的峰值与次峰值之比是信噪比 (S/N 比), 因而是越大越好的特性。即, 意味着, 根据第 2 实施例的 SSFBG, 与现有的 SSFBG 相比, 当然可生成与第 1 实施例的理想数值相比 S/N 比较大的自相关波形。由此, 可采用第 2 实施例的光脉冲时间扩散器作为 OCDM 的编码器和解码器, 从而可构建能确保更高的可靠性的光通信系统。

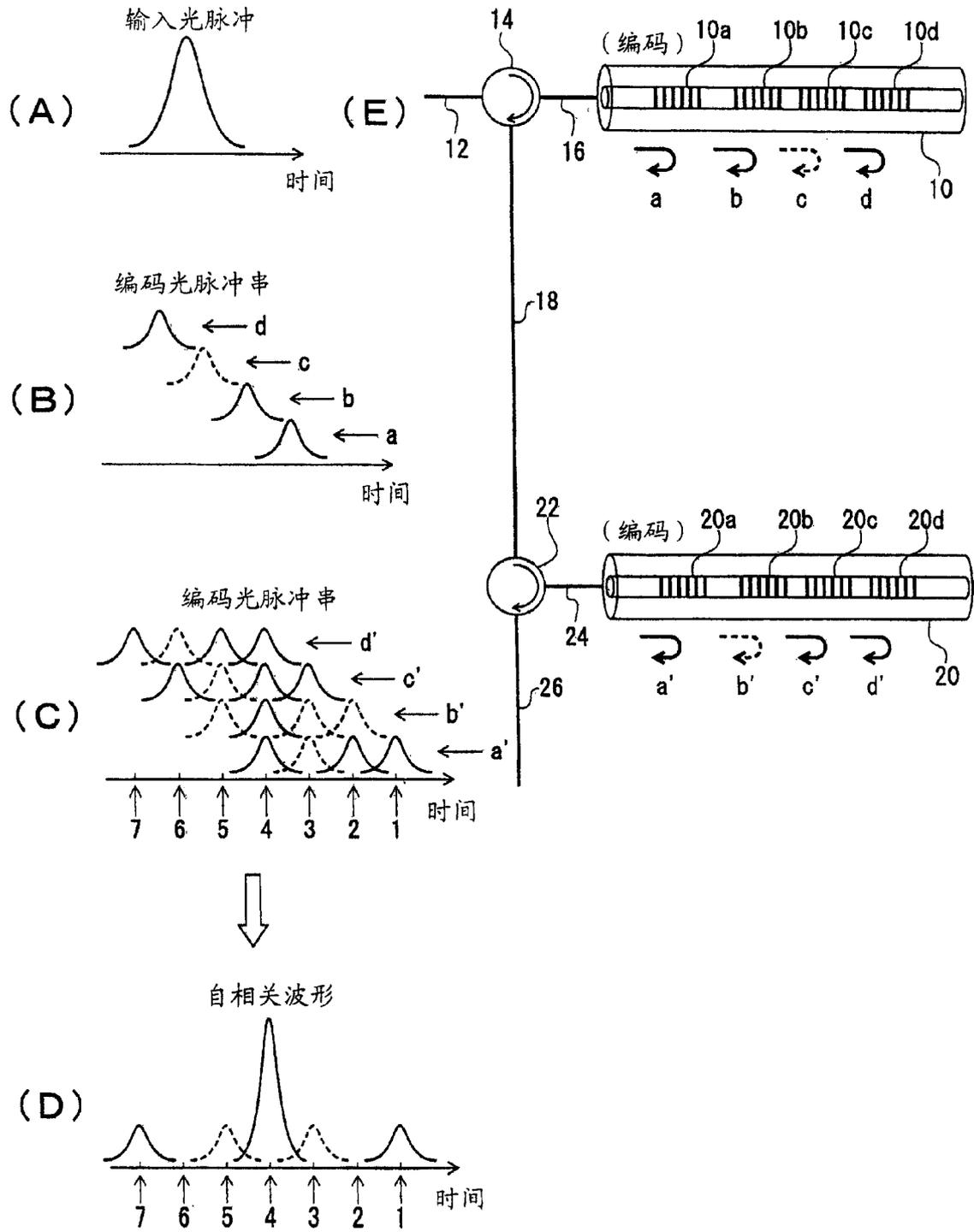


图 1

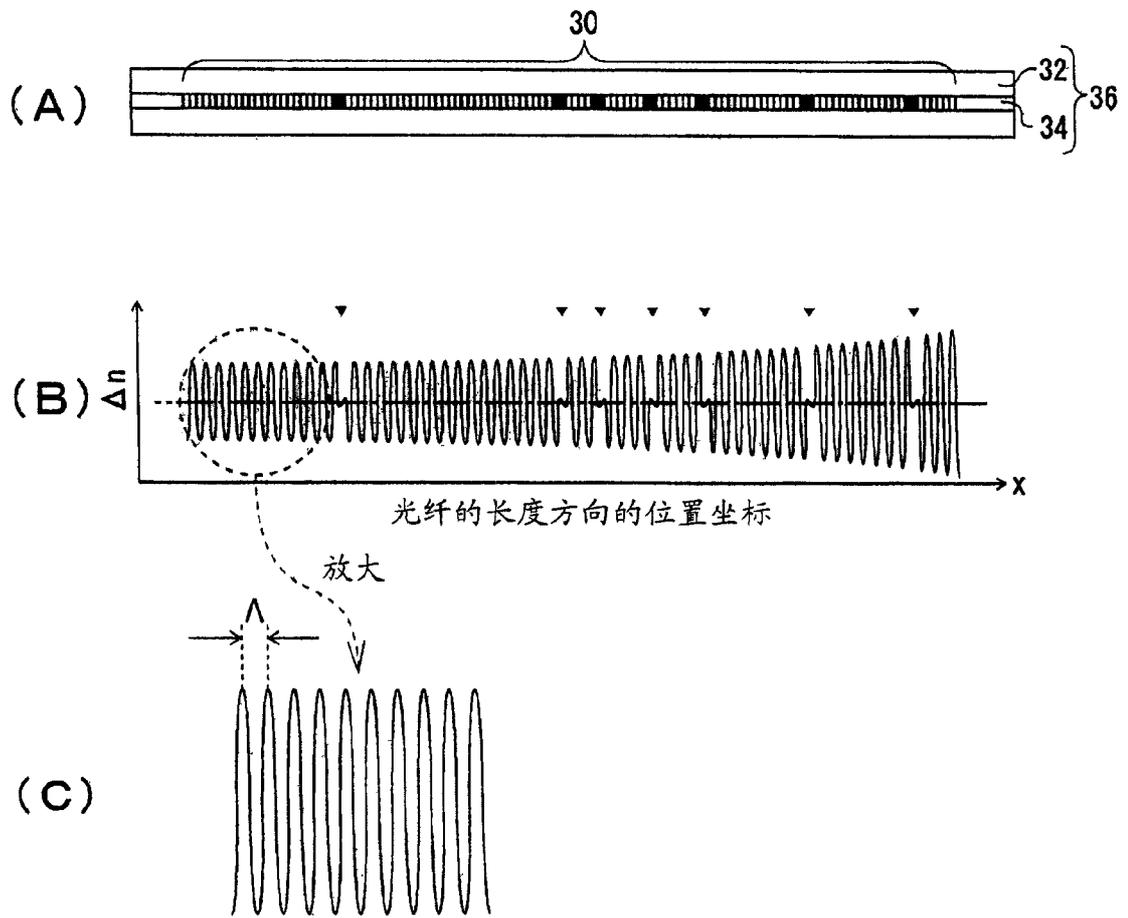


图 2

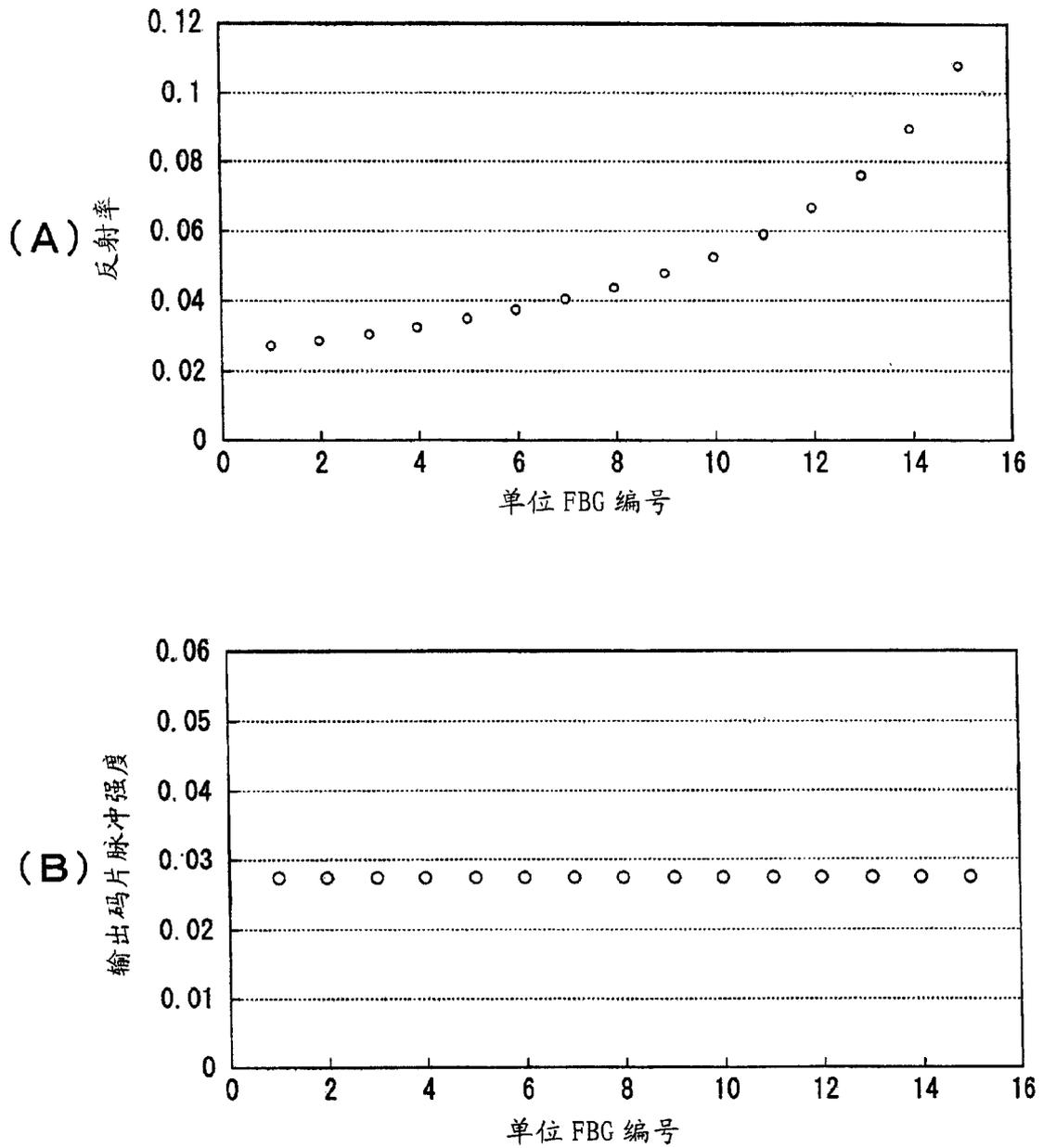


图 3

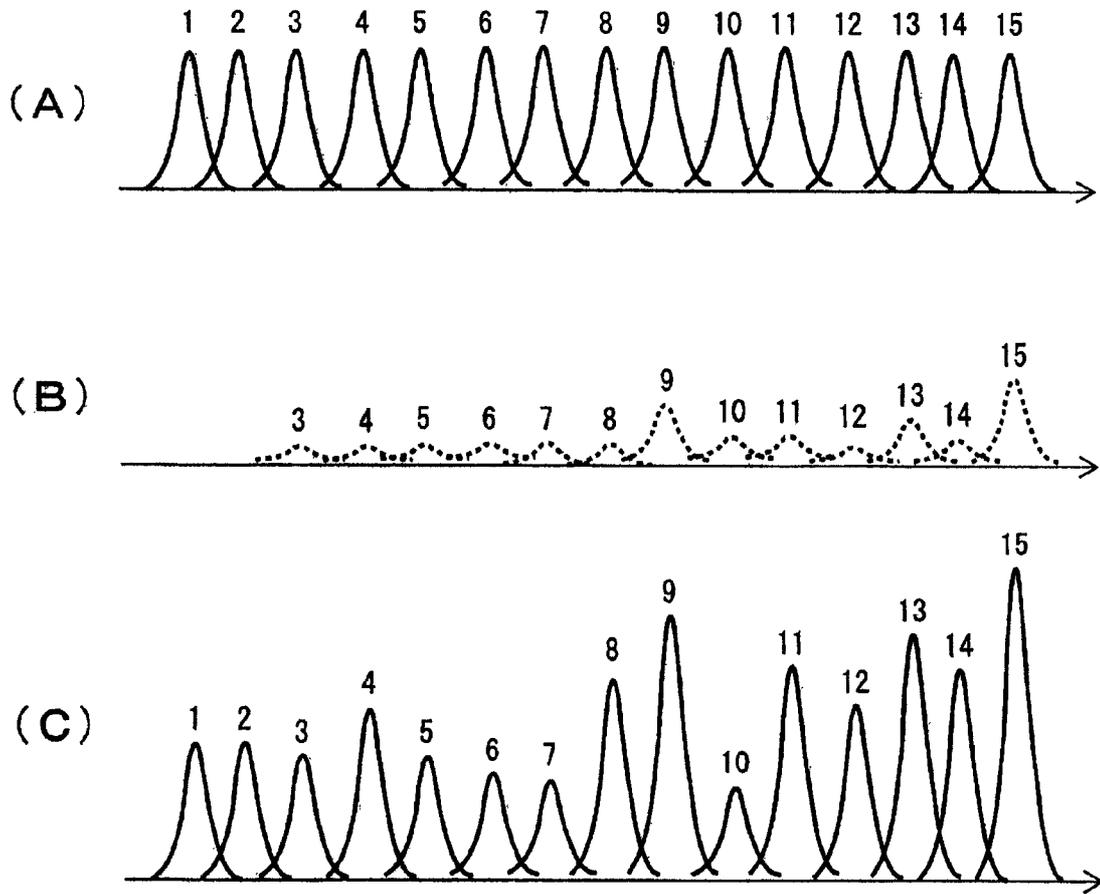


图 4

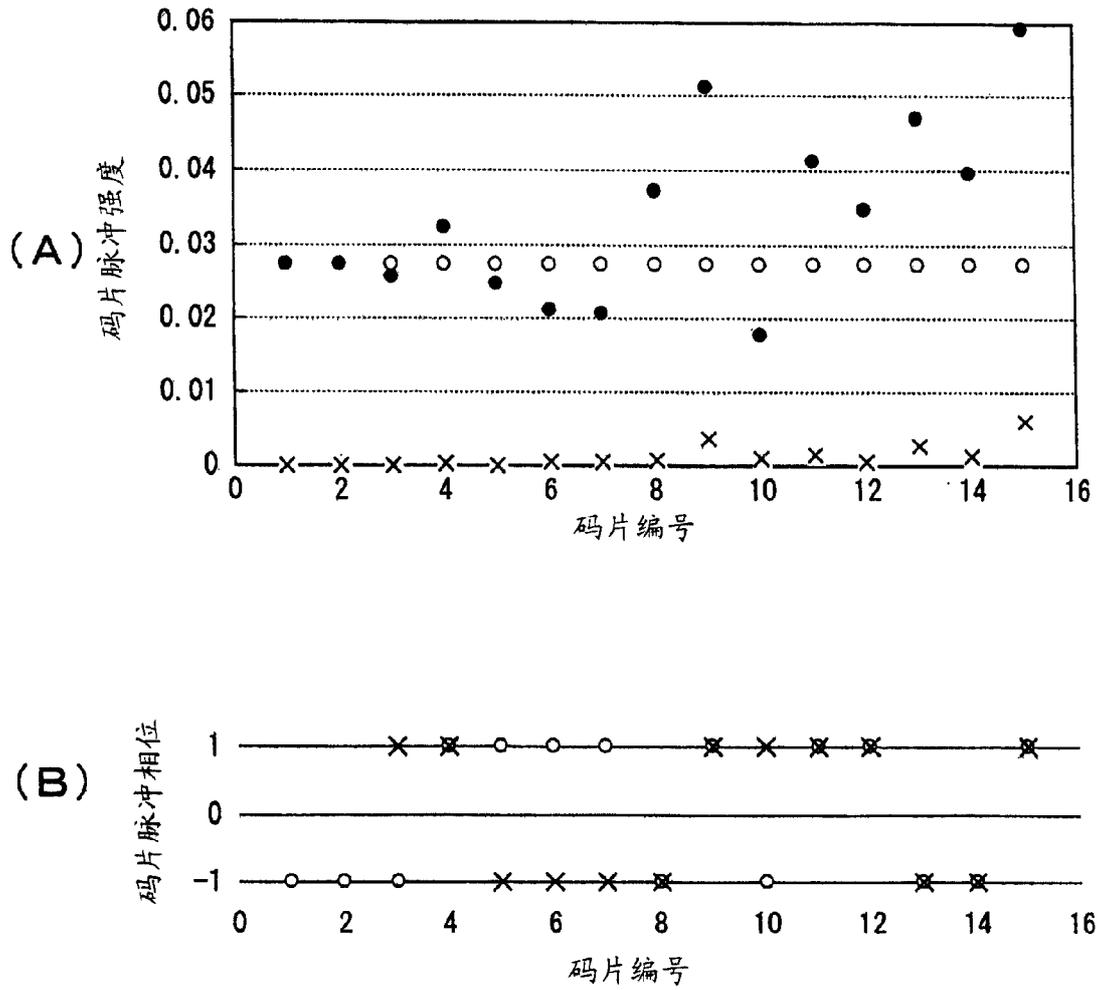


图 5

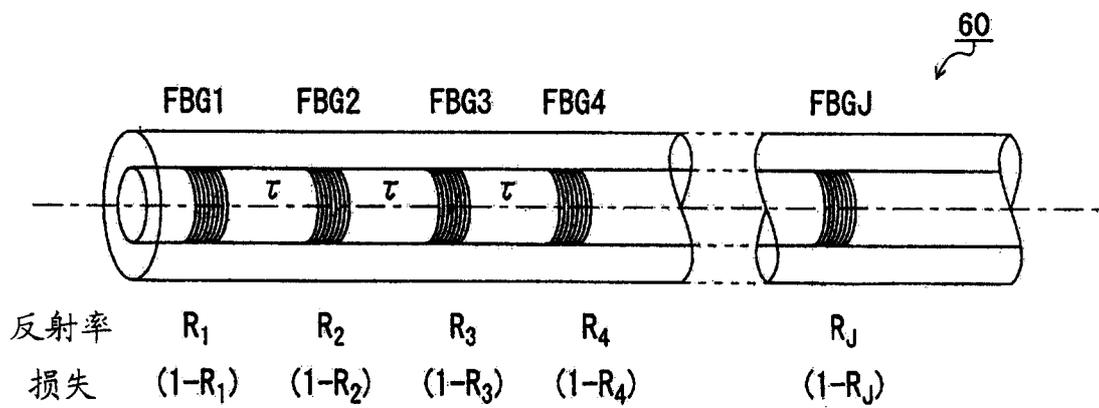


图 6

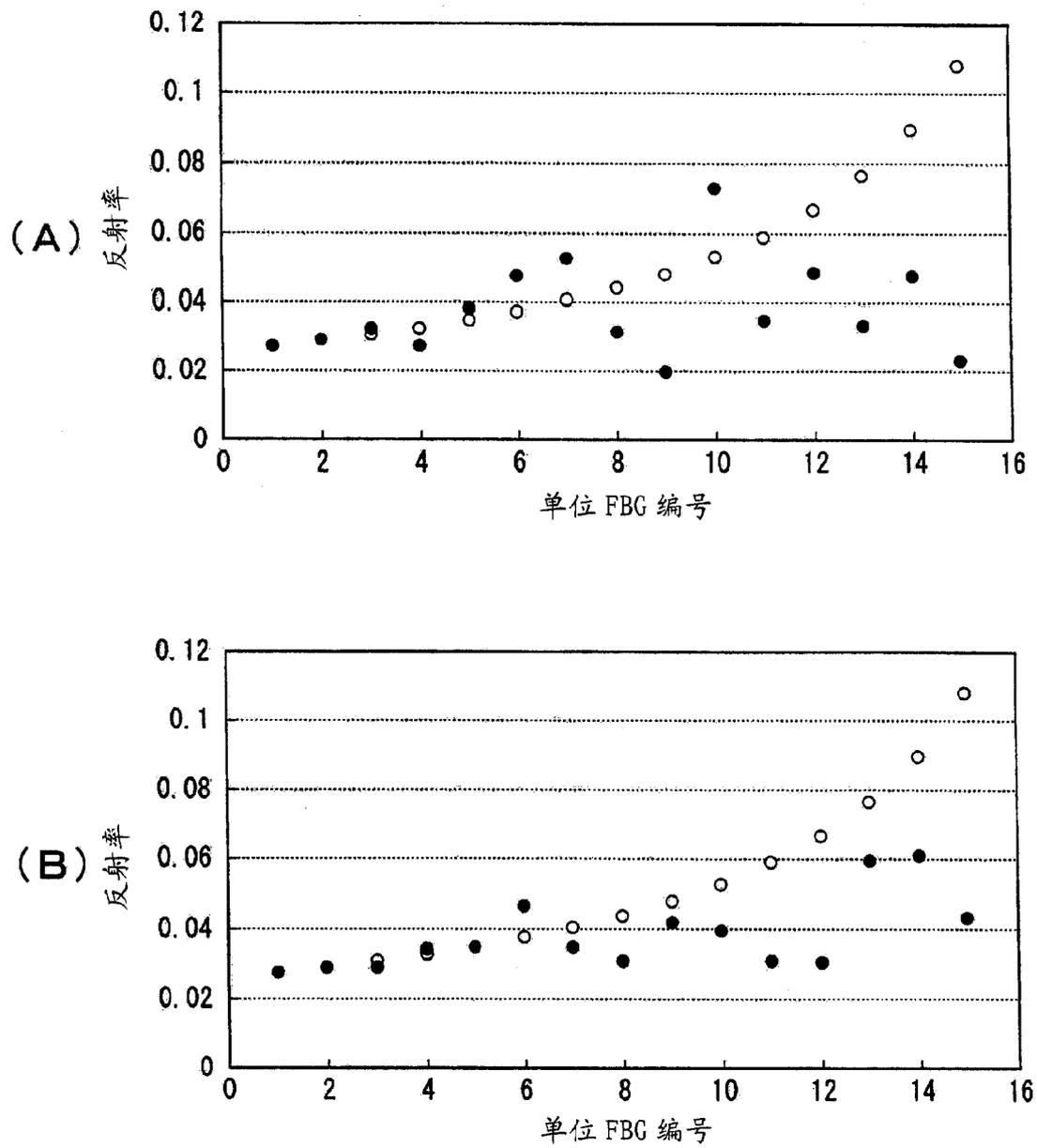


图 7

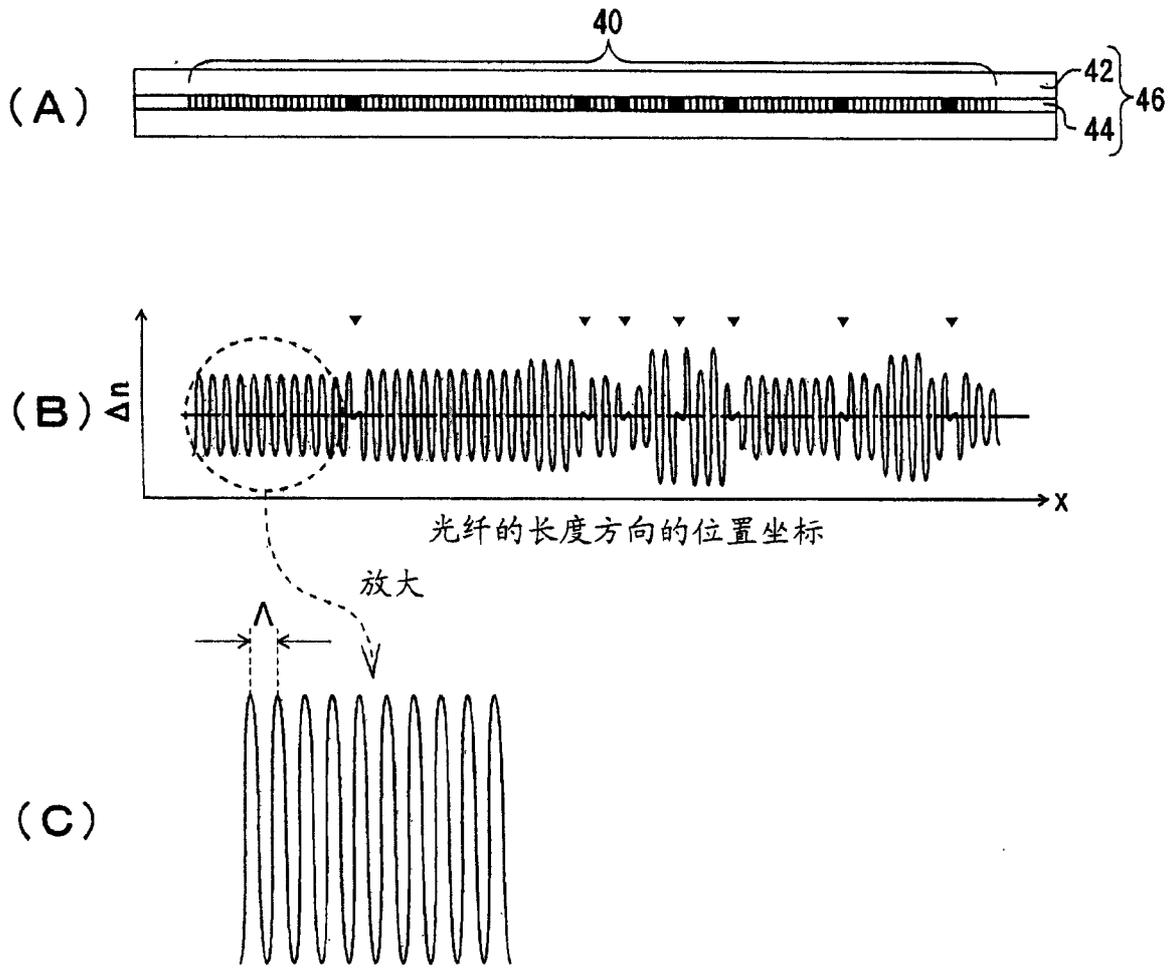


图 8

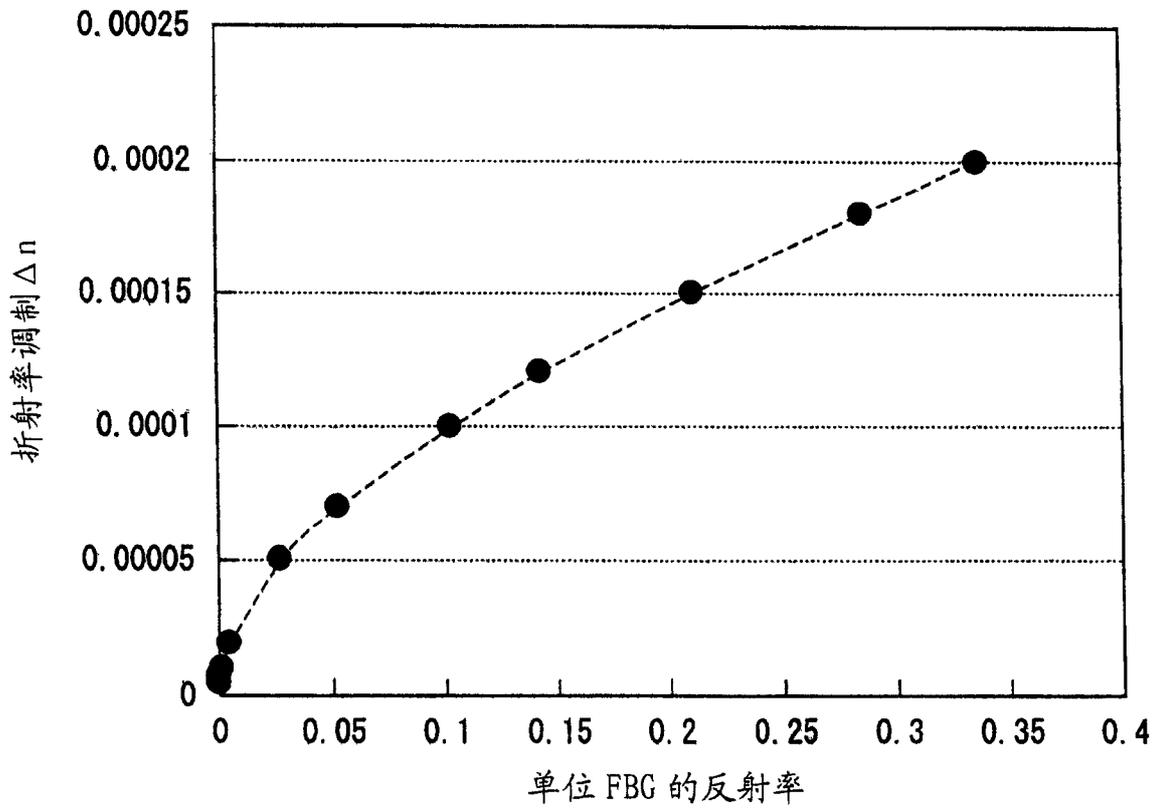


图 9

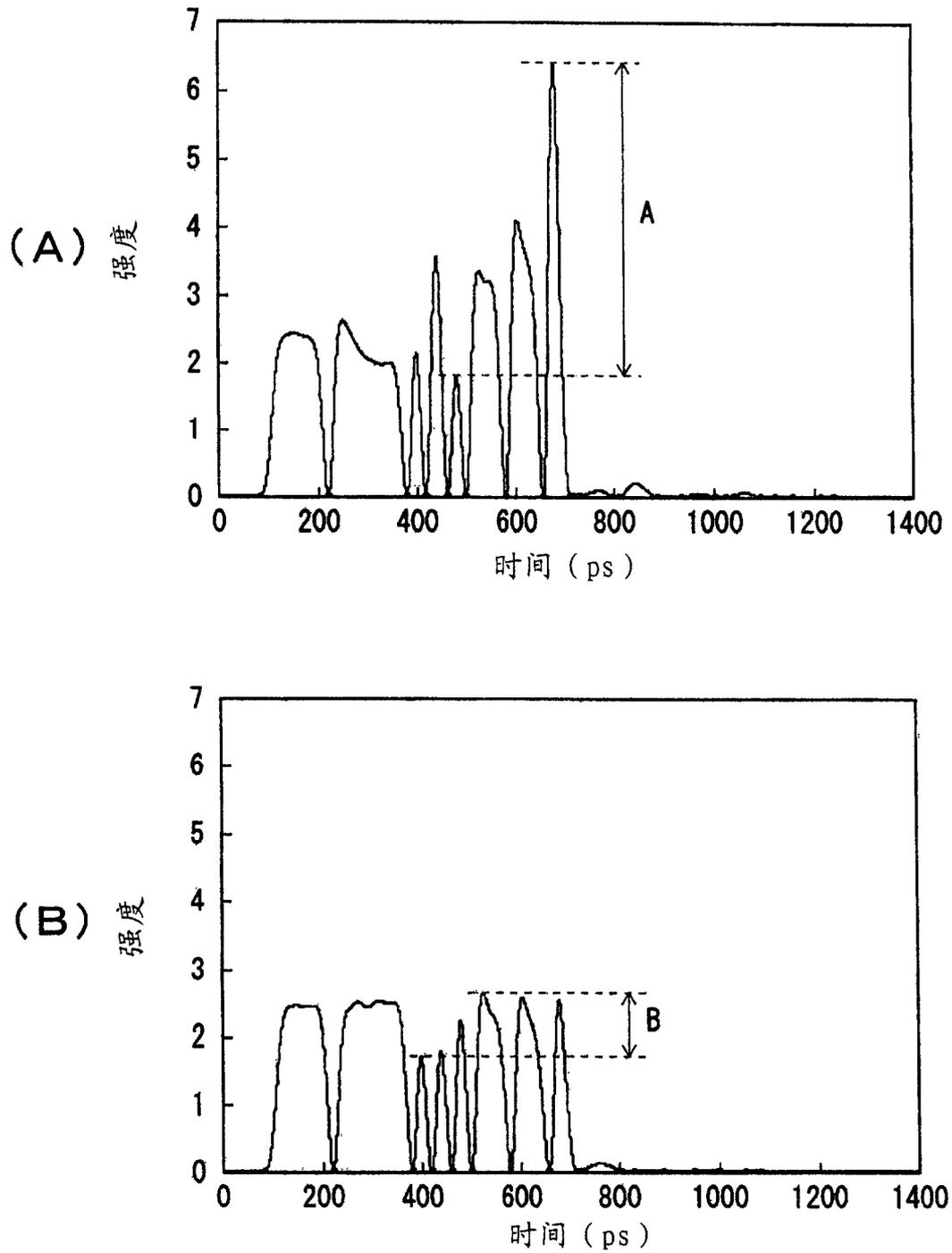


图 10

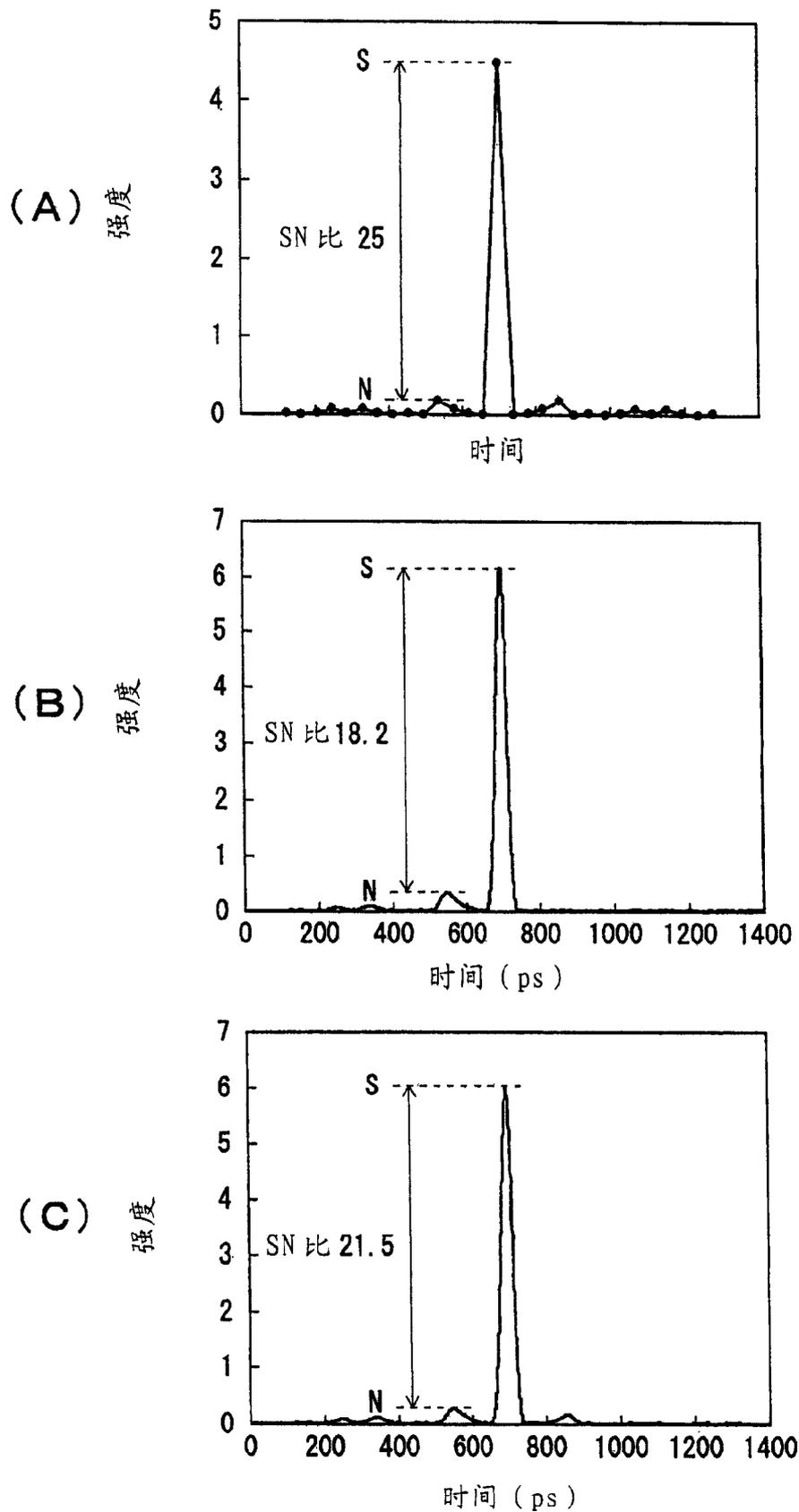


图 11

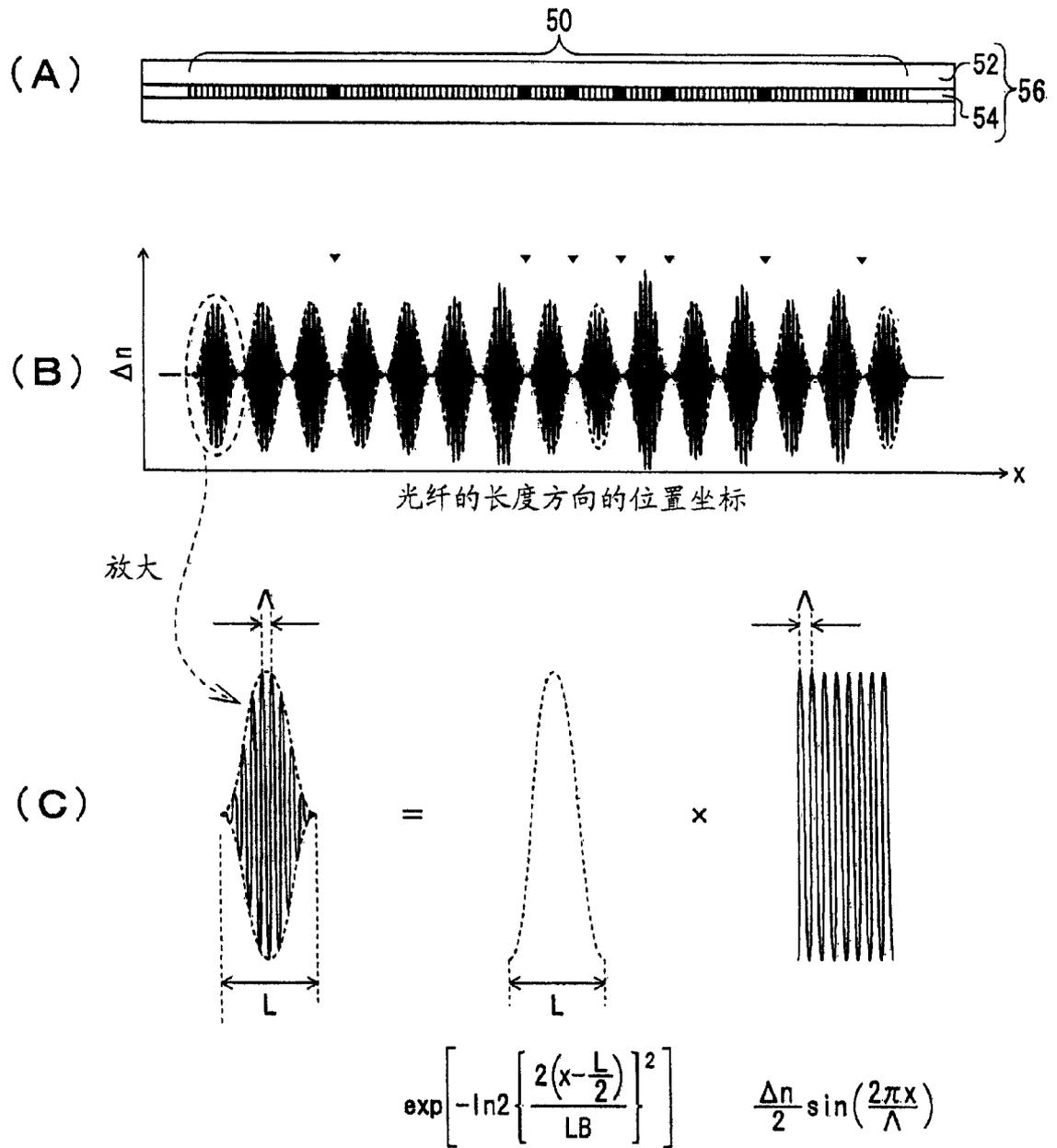


图 12

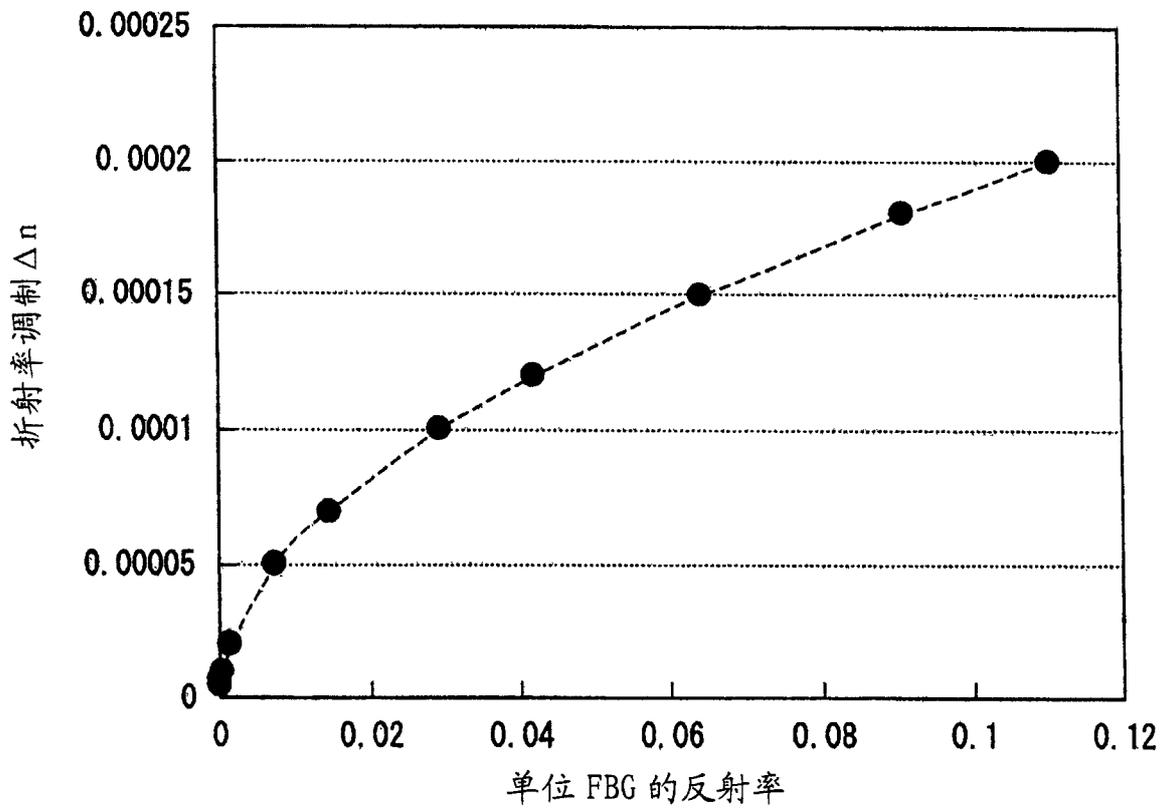


图 13

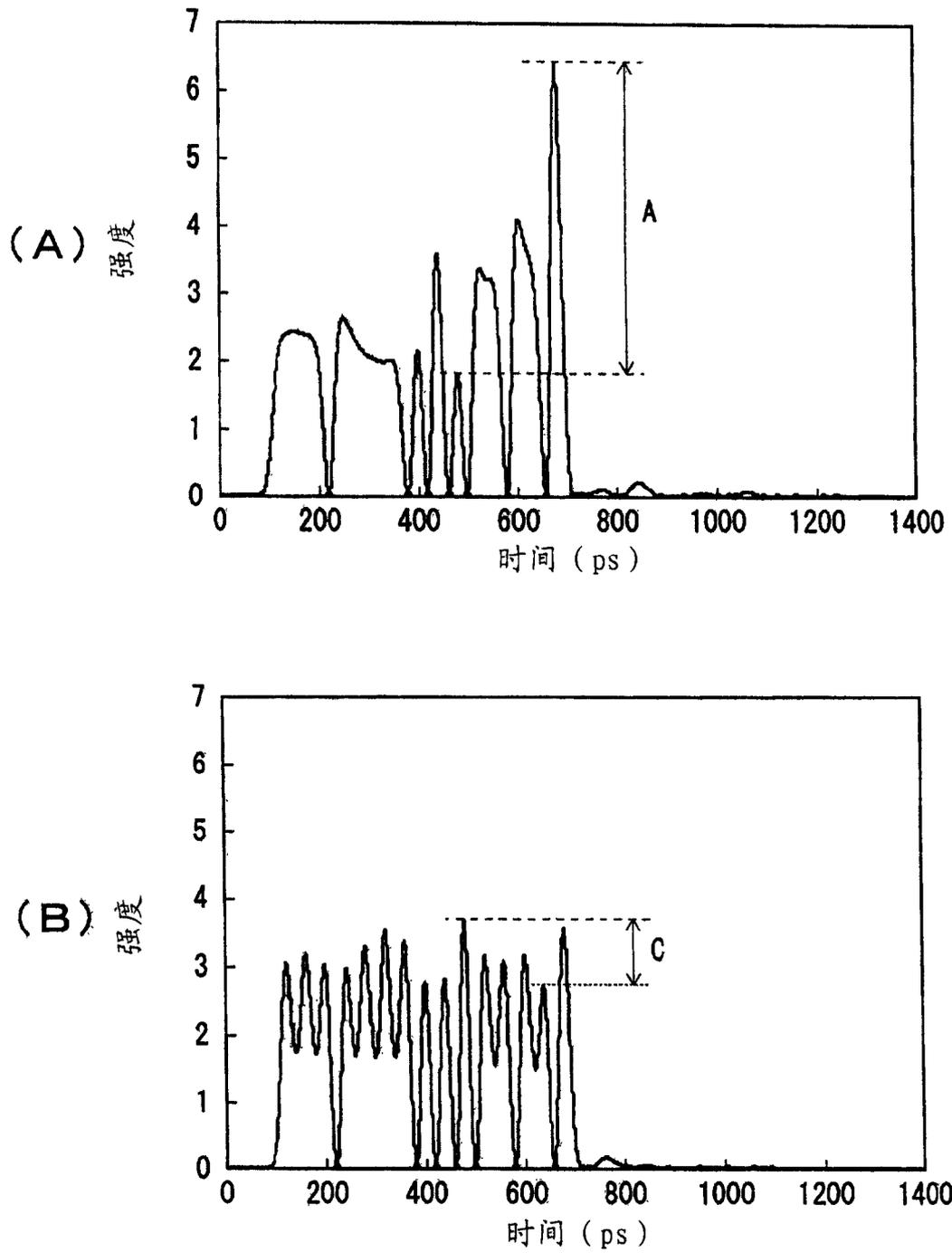


图 14

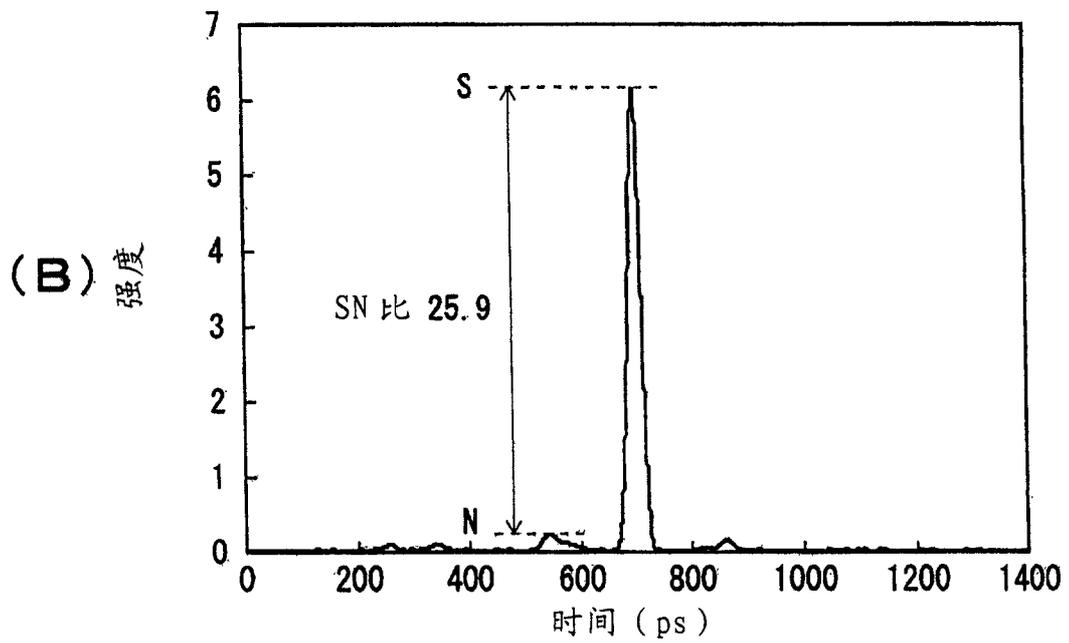
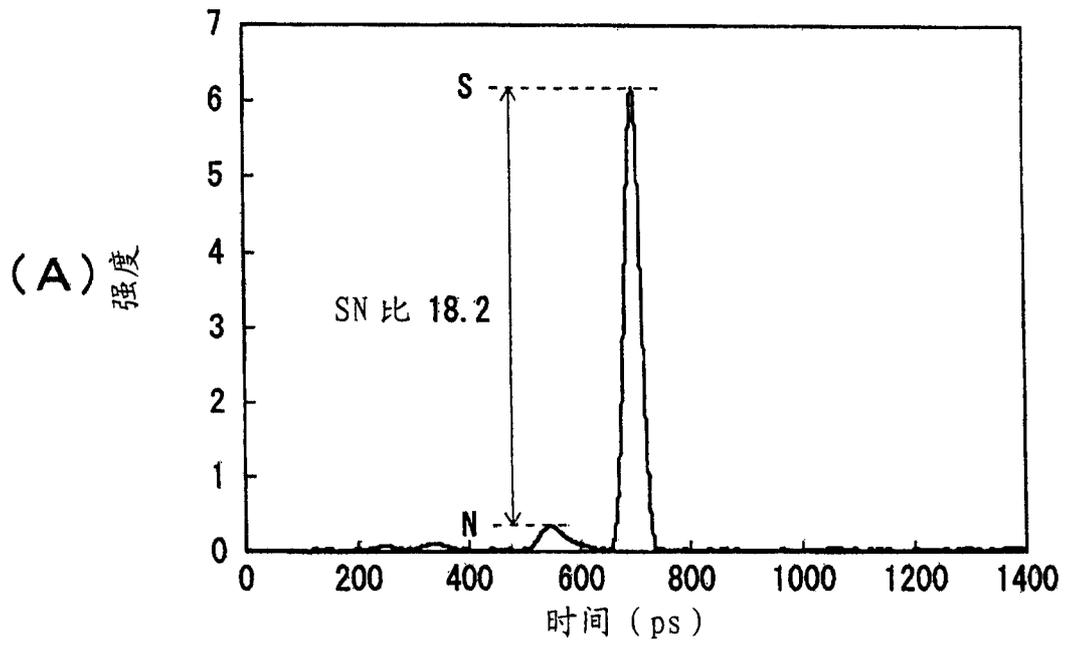


图 15