

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G01M 11/00 (2006.01)

G02F 1/035 (2006.01)

G02F 1/225 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02815480.0

[45] 授权公告日 2006 年 3 月 29 日

[11] 授权公告号 CN 1247976C

[22] 申请日 2002.7.31 [21] 申请号 02815480.0

[30] 优先权

[32] 2001.8.10 [33] JP [31] 243816/2001

[86] 国际申请 PCT/JP2002/007784 2002.7.31

[87] 国际公布 WO2003/016853 日 2003.2.27

[85] 进入国家阶段日期 2004.2.6

[71] 专利权人 住友大阪水泥股份有限公司

地址 日本东京

[72] 发明人 宫崎德一 清水亮

审查员 胡跃澜

[74] 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司

代理人 汪惠民

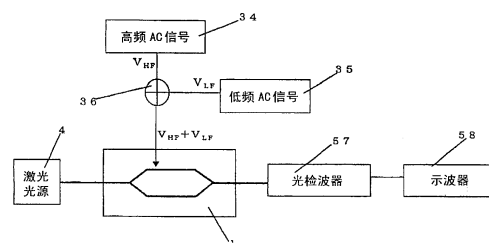
权利要求书 1 页 说明书 7 页 附图 10 页

[54] 发明名称

马赫曾德尔型光调制器的半波长电压测定方法

[57] 摘要

提供一种可以精密、并且不依赖于光调制器的偏置变动的情况下测定马赫曾德尔型光调制器的半波长电压的方法及其装置。在将被测频率的高频 AC 信号(34)和检测用低频 AC 信号(35)叠加后向马赫曾德尔型光调制器(1)施加,或者将两者分别向另外分别构成的电极施加,通过观测光调制器的输出光的低速响应测定马赫曾德尔型光调制器的半波长电压的方法中,让该高频 AC 信号(34)的电压振幅可变,采用根据该检测用低频 AC 信号让输出光的强度变化大致为 0 时的该高频 AC 信号(34)的电压振幅,测定马赫曾德尔型光调制器(1)的被测频率中的半波长电压。



1. 一种马赫曾德尔型光调制器的半波长电压测定方法，在将被测频率的高频 AC 信号与检测用低频 AC 信号叠加后施加在马赫曾德尔型光调制器上，或者分别将两者施加在分别构成的电极上，通过观测该光调制器的输出光的低速响应来测定马赫曾德尔型光调制器的半波长电压的方法中，其特征在于：

让该高频 AC 信号的电压振幅可变，采用根据该检测用低频 AC 信号让输出光强度变化大致为零时的该高频 AC 信号的电压振幅，测定马赫曾德尔型光调制器的被测频率中的半波长电压。

2. 根据权利要求 1 所述的马赫曾德尔型光调制器的半波长电压测定方法，其特征在于：根据该检测用低频 AC 信号让输出光强度变化大致为零时的该高频 AC 信号的电压振幅的峰-峰电压振幅值 V_{p-p} 、和马赫曾德尔型光调制器的半波长电压 V_{π} 之间的关系，满足

$$\text{式 } J_0(\pi V_{p-p}/(2V_{\pi})) = 0$$

的关系，其中 J_0 是 0 次贝塞耳函数。

3. 根据权利要求 1 所述的马赫曾德尔型光调制器的半波长电压测定方法，其特征在于：采用根据该检测用低频 AC 信号让输出光强度变化大致为零时的该高频 AC 信号的电压振幅，假定其峰-峰电压振幅值为最小时的值是 V_{p-pmin} 时、马赫曾德尔型光调制器的半波长电压 V_{π} 满足

$$\text{式 } (\pi V_{p-pmin}/(2V_{\pi})) = 2.405$$

的关系。

马赫曾德尔型光调制器的半波长电压测定方法

5

技术领域

本发明涉及一种马赫曾德尔（Mach-Zehnder）型光调制器（以下简称 MZ 型光调制器）的半波长电压（也称为 AC 半波长电压）的测定方法及测定装置，特别涉及对在高速、大容量光纤通信中使用的、适合高频调制的 MZ 型光调制器的半波长电压进行测定的测定方法及测定装置。

10

背景技术

光调制器是在光通信中的发送部等中使用的主要元器件，特别是使用 LiNbO_3 （LN）制成的 MZ 型光调制器，由于具有高速、带宽、低啁啾等特征，在近年来的高速大容量光通信中被广泛使用。

15

MZ 型光调制器 1，如图 1 所示，在具有光电效应的电路板上，由对光波进行波导的光波导路 2、以及在上述光波上施加微波带域的高速调制信号的电极（图中未画出）等所构成。MZ 型光调制器的工作原理是：从光波导路 2 的一端输入的光，在途中被分支后，由于通过按照从信号源施加的电信号的电压的大小改变折射率的电路板，在相互的光之间产生速度差，而在将分支后的光结合时，相互之间产生相位上的偏差，因此，合成后的输出光表示出与该电信号对应的强度变化。

20

图 2 表示相对于在 MZ 型光调制器 1 上施加的信号源 3 的输入电压（V），输出光（I）变化的曲线图。一般，随着输入电压 V 的增加，输出光 I 在一定范围内呈正弦曲线振动。如图 2 所示，在输出光的最小值与最大值之间的输入电压幅度被称作半波长电压 V_π ，是在光通信中当用光调制器进行 ON/OFF 控制时，确定施加在光调制器上的电信号的电压值的重要数值。

25

即使是相同的光调制器，其半波长电压也随施加在光调制器上的电信号的频率变化。而且随着近年来光通信的高速、大容量化，光调制器的驱

30

动频率也呈现高频化, 对 10GHZ 及其以上频率也要求正确测定半波长电压。

作为半波长电压的测定方法, 有如图 3 所示的直接观察输出光的测定方法 (现有技术例 1)、以及在美国专利第 6,204,954 号中所述的如图 5 所示的利用输出光的平均输出值的测定方法 (现有技术例 2) 等。

在现有技术例 1 中, 如图 3 所示, 对 MZ 型光调制器 1 入射来自激光源 4 的光, 同时高频 AC 信号 31 上由 BiasT33 重叠来自偏置用的 DC 电源 32 偏置电压之后所产生的电压也被施加到 MZ 型光调制器上。于是, 从 MZ 型光调制器 1 射出的光由高速光检波器检测, 并且所检测的输出可以用采样示波器 52 进行观察。

现有技术例 1 的测定方法, 当 MZ 型光调制器 1 的输入电压 V 和输出光 I 之间的关系 (V - I 特性) 如图 4 所示曲线时, 如果在具有峰-峰电压振幅值 V_{p-p} 的高频 AC 信号上叠加偏置电压 V_B , 并对 MZ 型光调制器 1 施加如曲线 B 所示的输入电压, 则输出光就变成如曲线 C 所示那样, 此曲线 C 的波形可以用采样示波器 52 直接观察。

而且, 一边进行直接观察, 一边让曲线 C 的峰-峰振幅成为最大那样, 调整 V_{p-p} 和 V_B 的电压值, 通过测定最大时的 V_{p-p} , 求出 MZ 型光调制器 1 的半波长电压 V_π ($V_\pi = V_{p-p}$)。

但是, 在现有技术例 1 的测定方法中, 当高频超过 10GHZ 时、因高速光检波器 51 等感光系的频率特性的问题, 要正确观察到光波形 (图 4 的曲线 C) 是困难的。因此无法精确测定半波长电压。

另一方面, 在现有技术例 2 中, 如图 5 所示, 对于激光通过的 MZ 型光调制器 1, 施加由 BiasT33 在高频 AC 信号 31 上叠加来自 DC 电源 32 的偏置电压后的电压。于是, MZ 型光调制器 1 射出的光被光耦合器 53 分支, 一部分光进入光功率计 54 内, 其它光被光检波器检测, 所检测的输出被导入频谱分析仪 56。

现有技术例 2 的测定方法, 当 MZ 型光调制器 1 的输入电压 V 和输出光 I 之间的关系 (V - I 特性) 如图 6 所示曲线 A 时, 调节偏置电压 V_B , 让其成为表示 V - I 特性曲线 A 的峰值的输入电压 (偏置点调整), 分别测定在偏置电压 V_B 上叠加具有峰-峰电压振幅值 V_{p-p} 的高频 AC 信号时 (曲

线 B1) 的输出光的平均输出值 (曲线 C1)、不附加高频 AC 信号时 (只有偏置电压 V_B 。曲线 B2) 的输出光值 (曲线 C2)、以及高频 AC 信号的 V_{p-p} 。然后, 利用 V-I 特性成为正弦函数的事实, 就能求出 MZ 型光调制器的半波长电压 V_π 。

- 5 在现有技术例 2 的测定方法中, 虽然在高频可以精确测定半波长电压, 但需要调节 MZ 型光调制器的偏置点, 当出现偏置点变动引起输出光不稳定时, 就难以准确测定半波长电压。并且由于用于半波长电压计算时的参数很多, 计算变得繁杂。

10 发明内容

本发明解决了上述问题, 其目的在于提供一种在 MZ 型光调制器的半波长电压的测定中, 即使在高频也能精确进行测定, 不依赖于该光调制器偏置点的变动, 而且在计算中使用的参数也比较简洁的测定方法及装置。

- 为解决上述课题, 有关本发明之一的马赫曾德尔型光调制器的半波长
15 电压测定方法, 是在将被测频率的高频 AC 信号与检测用低频 AC 信号叠加后施加在马赫曾德尔型光调制器上, 或者分别将两者施加在分别构成的电极上, 通过观测该光调制器的输出光的低速响应来测定马赫曾德尔型光调制器的半波长电压的方法中, 让该高频 AC 信号的电压振幅可变, 采用根据该检测用低频 AC 信号让输出光强度变化大致为零时的该高频 AC 信号
20 的电压振幅, 测定马赫曾德尔型光调制器的被测频率中的半波长电压。

- 有关本发明之二的马赫曾德尔型光调制器的半波长电压测定方法, 是在本发明之一的马赫曾德尔型光调制器的半波长电压测定方法中, 根据该检测用低频 AC 信号让输出光强度变化大致为零时的该高频 AC 信号的电压振幅的峰一峰电压振幅值 V_{p-p} 、和马赫曾德尔型光调制器的半波长电压
25 V_π 之间的关系, 满足

式 $J_0(\pi V_{p-p}/(2V_\pi))=0$ (J_0 是 0 次贝塞耳函数)
的关系。

- 有关本发明之三的马赫曾德尔型光调制器的半波长电压测定方法, 是在本发明之一的马赫曾德尔型光调制器的半波长电压测定方法中, 采用根
30 据该检测用低频 AC 信号让输出光强度变化大致为零时的该高频 AC 信号

的电压振幅，假定其峰—峰电压振幅值为最小时的值是 V_{p-pmin} 时、马赫曾德尔型光调制器的半波长电压 V_{π} 满足

$$\text{式 } (\pi V_{p-pmin} / (2V_{\pi})) = 2.405$$

的关系。

- 5 本发明之四的马赫曾德尔型光调制器的半波长电压测定装置，采用本发明之一至之三中任一项所述的马赫曾德尔型光调制器的半波长电压测定方法，可以测定马赫曾德尔型光调制器的半波长电压。

附图说明

- 10 图 1 表示 MZ 型光调制器的概略图。
图 2 表示 MZ 型光调制器的 V-I 特性曲线。
图 3 表示现有技术例 1 测定方法的概略图。
图 4 表示用现有技术例 1 的测定方法得到的 V-I 特性等关系的曲线。
图 5 表示现有技术例 2 的测定方法的概略图。
15 图 6 表示用现有技术例 2 的测定方法得到的 V-I 特性等关系的曲线。
图 7 表示本发明的测定方法的概略图。
图 8 表示根据本发明的测定方法输出光的低速响应状态的变化曲线。
图 9 表示本发明的实验例的概略图。
图 10 表示利用本发明的测定结果时的 MZ 型光调制器光电响应特性
20 的曲线。

具体实施方式

以下，采用优选实施例对本发明进行详细说明，但本发明的范围并不限定于该优选实施例。

- 25 在本发明中，如图 7 所示，将已被测定频率的高频 AC 信号 34 与检测用低频 AC 信号 35 叠加并施加在 MZ 型光调制器 1 上，或者如图 9 所示，将两者分别施加在分别构成的电极（具体指 RF 用信号电极和偏置端口用接地电极）上，用光检波器 57 和示波器 58 观测到光调制器输出光的低速响应（对应低频 AC 信号 35 的变化），对照观察的波形，调整高频
30 AC 信号 34 的电压振幅，就能测定 MZ 型光调制器 1 的半波长电压。

依据本发明,不需要进行在有关 MZ 型光调制器的测定中成为问题的偏置点的调整、控制,并且能非常简单、精确地测定半波长电压。

对本发明的测定原理进行说明。

假定 ϕ_1 表示高频 AC 信号 34 的相位变化, ϕ_2 表示低频 AC 信号 35 的相位变化, MZ 型光调制器 1 的输出光可用式 1 表示。式中, I_0 是输出光的最大值, V_{p-p} 是高频 AC 信号 34 的峰-峰电压振幅值, f 是被测频率的高频 AC 信号 34 的频率。 V_π 是被测频率 f 的 MZ 型光调制器 1 的半波长电压。

$$I = \frac{I_0}{2} [1 + \cos(\Phi_1 + \Phi_2)]$$

$$\Phi_1 = \frac{\pi V_{p-p}}{2V_\pi} \sin(2\pi ft) \quad \dots (1)$$

其次,式 1 中输出光 I 对应的低速响应 I' , 相当于对高频 AC 信号 (频率 f) 取时间平均, 可用式 2 表示。

$$\begin{aligned} I' &= f \int_0^{1/f} \frac{I_0}{2} [1 + \cos(\Phi_1 + \Phi_2)] dt \\ &= f \int_0^{1/f} \frac{I_0}{2} [1 + \cos \Phi_1 \cos \Phi_2 - \sin \Phi_1 \sin \Phi_2] dt \quad \dots (2) \end{aligned}$$

进一步, 对式 2 进行级数展开并整理后, 得到式 (3)。

$$\begin{aligned} I' &= f \int_0^{1/f} \frac{I_0}{2} \left[1 + \cos \left\{ \frac{\pi V_{p-p}}{2V_\pi} \sin(2\pi ft) \right\} \cos \Phi_2 - \sin \left\{ \frac{\pi V_{p-p}}{2V_\pi} \sin(2\pi ft) \right\} \sin \Phi_2 \right] dt \\ &= f \int_0^{1/f} \frac{I_0}{2} \left[1 + \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon_n \cos(2n \cdot 2\pi ft) J_{2n} \left\{ \frac{\pi V_{p-p}}{2V_\pi} \right\} \cos \Phi_2 \right. \\ &\quad \left. - \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon_n \sin\{(2n+1)2\pi ft\} J_{2n+1} \left\{ \frac{\pi V_{p-p}}{2V_\pi} \right\} \sin \Phi_2 \right] dt \\ &= \frac{I_0}{2} \left[1 + J_0 \left\{ \frac{\pi V_{p-p}}{2V_\pi} \right\} \cos \Phi_2 \right] \quad \dots (3) \end{aligned}$$

$$\text{式中 } \varepsilon_n = \begin{cases} 1 \cdots n = 0 \\ 2 \cdots n \neq 0 \end{cases}$$

式 3 表明, MZ 型光调制器的输出光的低速响应 I' 可用常数项、0 次的贝塞尔函数和余弦函数之积表示。在此, 贝塞尔函数表示的值随高频 AC 信号 34 而输出变化。余弦函数表示的值随低频 AC 信号 35 而输出变化。

5 当输入让贝塞尔函数项为 0 的电压 V_{p-p} 的高频 AC 信号 34 时, 式 3 的第 2 项为 0, 无论低频 AC 信号 35 是否输入, 输出光的低速响应 I' 都是 $I_0/2$, 成为恒定输出。此状态如图 8 (b) 所示。

即, 当加在 MZ 型光调制器 1 上的高频 AC 信号 34 的电压振幅连续变化时, MZ 型光调制器 1 的输出光的低速响应可在示波器 58 上观测, 如图 8 (a) 所示由于低频 AC 信号的影响, 输出光的变动状况如图 8 (b) 所示当输出光为恒定时, 通过测定输入到 MZ 型光调制器 1 上的高频 AC 信号 34 的电压 V_{p-p} , 就能算出被测频率 f 对应的半波长电压 V_π 。

输出光的低速响应 I' 为恒定时 V_{p-p} 和 V_π 的关系, 可以根据式 3 的贝塞尔函数项为 0 的条件

$$15 \quad J_0(\pi V_{p-p} / (2V_\pi)) = 0 \quad (J_0 \text{ 是 0 次的贝塞尔函数})$$

所导出。

但是, 因为使 0 次贝塞尔函数为 0 的条件有多个, 通常所需要的信号电压为最小, 根据最初输出光为最小的峰-峰电压振幅值 V_{p-pmin} , 利用关系式 $\pi V_{p-pmin} / (2V_\pi) = 2.405$, 可以计算出半波长电压 V_π 。

20 有关本发明的实验例, 如图 9、图 10 所示。

激光源发射的 $1.55\mu\text{m}$ 的激光, 通过偏振波调节器 42 后, 调整偏振波状态, 入射到 MZ 型的 LN 光调制器 11。

被测频率 f 的高频 AC 信号和检测器用低频 AC 信号叠加后输入到 LN 光调制器 11。对于高频 AC 信号的输入, 从高频信号发生器 34-1 输出的高频微波由高频放大器 34-2 可改变电压振幅, 并输入到 LN 光调制器 11 的高频用 (RF) 端口。同时, 对于低频 AC 信号的输入, 从低频信号发生器 35-1 输出的 1kHz 正弦波输入到 LN 光调制器 11 的偏置 (BIAS) 端口。通过将低频 AC 信号的振幅电压设定为半波长电压的 2 倍以上, 始终可以得到输出光的最大振幅, 便于观测, 使测定更加精确。

30 LN 光调制器 11 的输出光用光检波器 57 检测, 在示波器 58 中观测检

测信号。

本实验的测定结果是：对应 1GHz、5GHz、10GHz 的检测频率，其半波长电压分别为 4.9V、5.7V、6.4V。

图 10 表示将利用该测定结果时的 LN 光调制器 11 的光电响应特性、
5 和用光构成分析仪得到的 LN 光调制器 11 的光电响应特性的测定结果进行比较的结果。比较结果显示，两者非常一致。本发明的测定方法与以往相比，尽管大幅度简化了测定，也可以准确捕捉 LN 光调制器 11 的特性，这可以说本发明的测定精度非常优异。

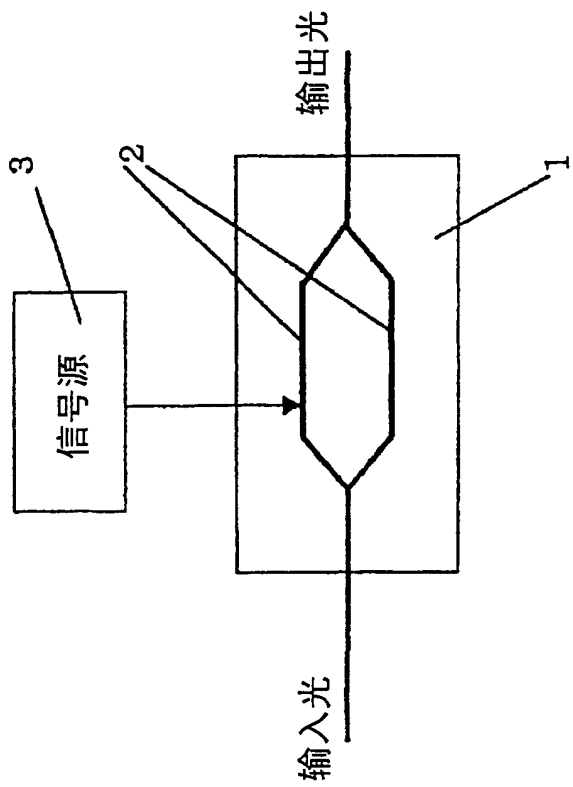
此外，本发明的测定方法和装置也可实现自动化。比如高频 AC 信号的电压振幅 V_{p-p} 能从 0 开始自动增加，输出光的低速响应 I 的变动幅度在
10 规定值以内（规定值接近 0 时可得到更正确的测定结果，因测定误差等因素的影响要正好为 0 存在困难，因此应根据测定结果的用途，希望设定进行有效测定的值）时的 V_{p-p} 值被记录，利用该值由另外设置的运算装置计算半波长电压 V_{π} 。然后，一边依次变更被测频率，一边反复进行同样的测定方法，可以测定任意频率范围的半波长电压。
15

根据本发明，利用检测用低频 AC 信号测定输出光强度变化大致为 0 时的高频 AC 信号的电压振幅最小值 V_{p-pmin} ，只要代入式 $\pi V_{p-pmin} / (2V_{\pi}) = 2.405$ ，就能简单地测定 MZ 型光调制器的半波长电压 V_{π} 。

20 并且，即使被测频率是高频，因没有必要直接观测高频波形，所以能够进行精确测量，同时由于是不依存偏置点的测定方法，因此，不需要进行偏置点的调整，也不会受到光调制器偏置点变动的影响

进一步，半波长电压 V_{π} 的计算只要用到参数 V_{p-pmin} 等，就可以提供非常有效的马赫曾德尔型光调制器的半波长电压测定方法及其装置。

25



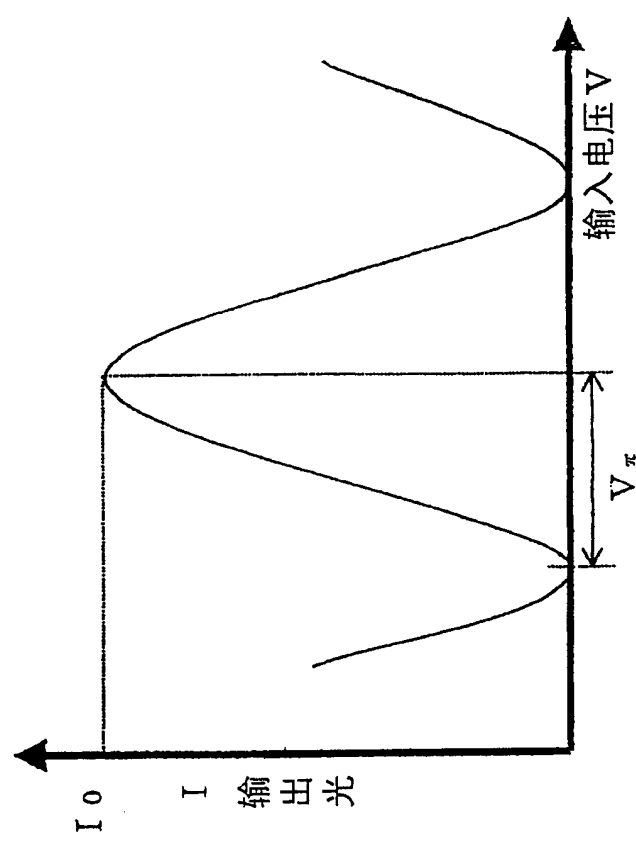


图 2

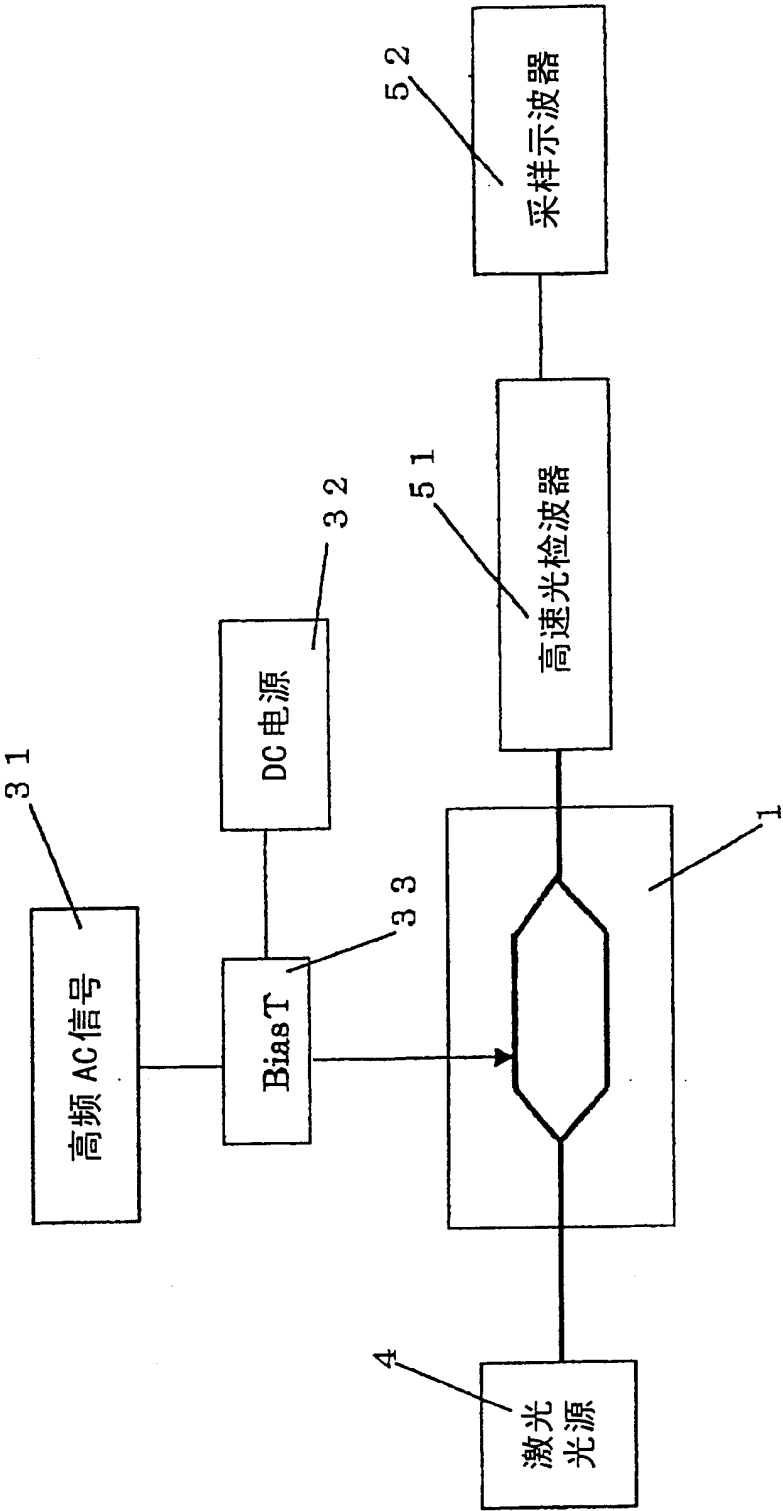


图 3

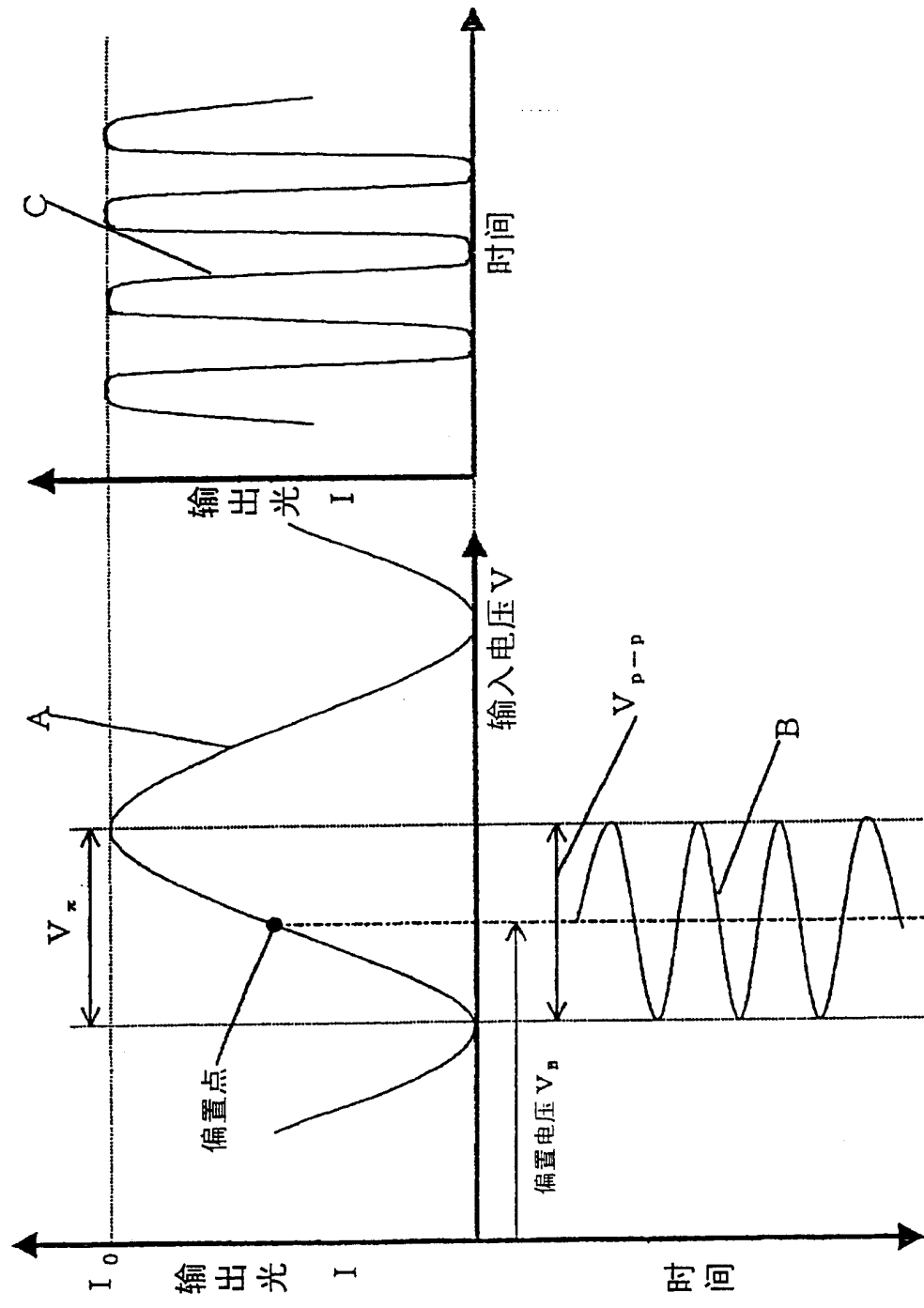


图 4

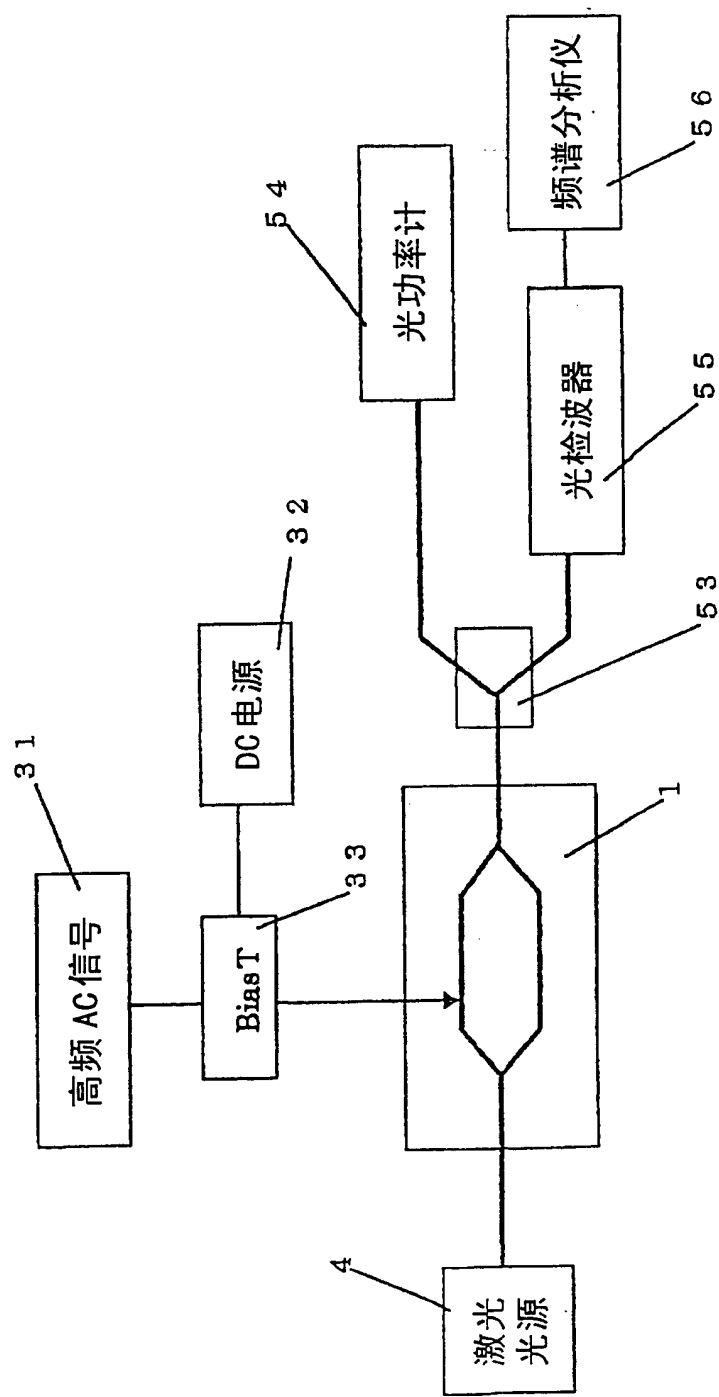


图 5

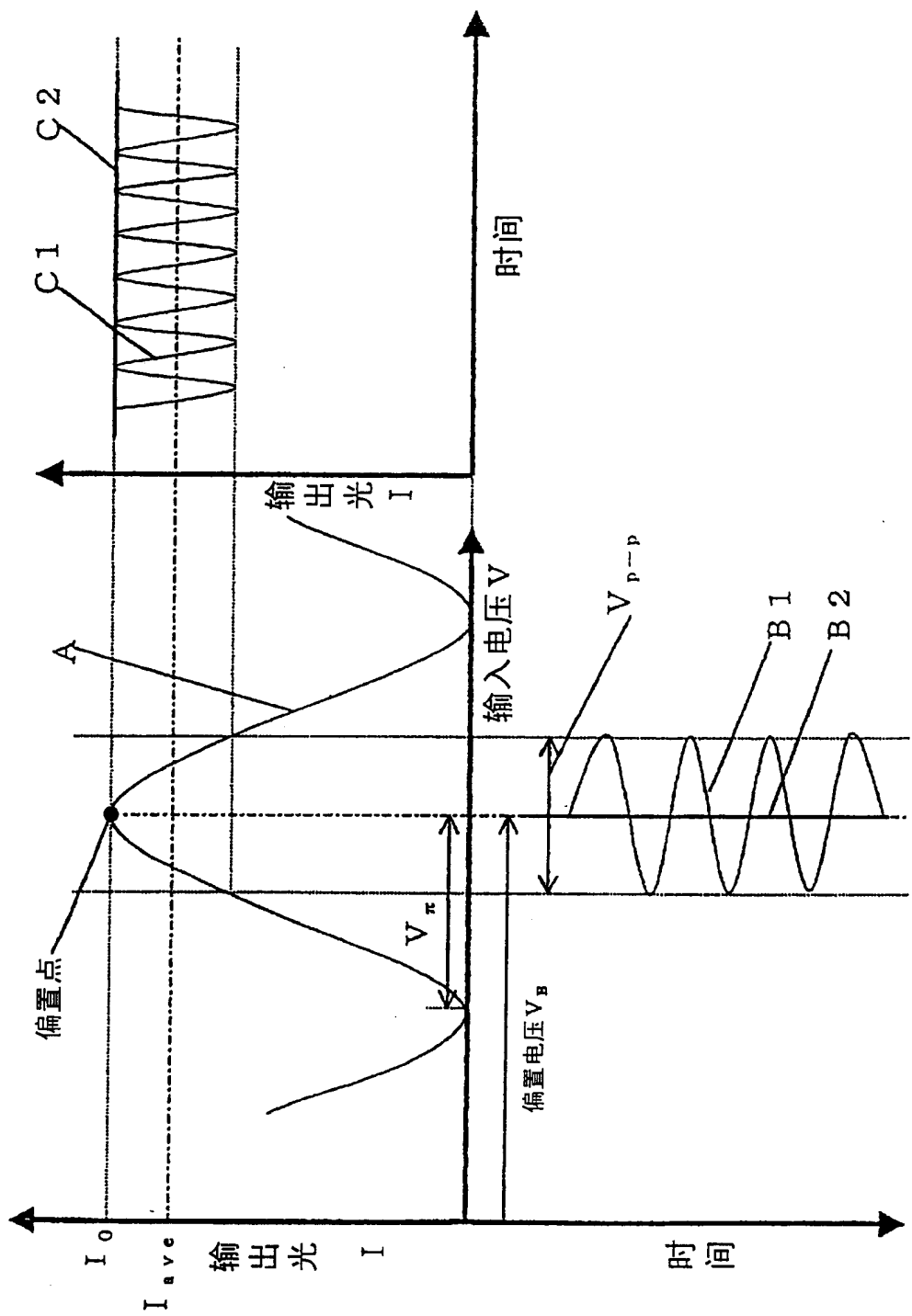


图 6

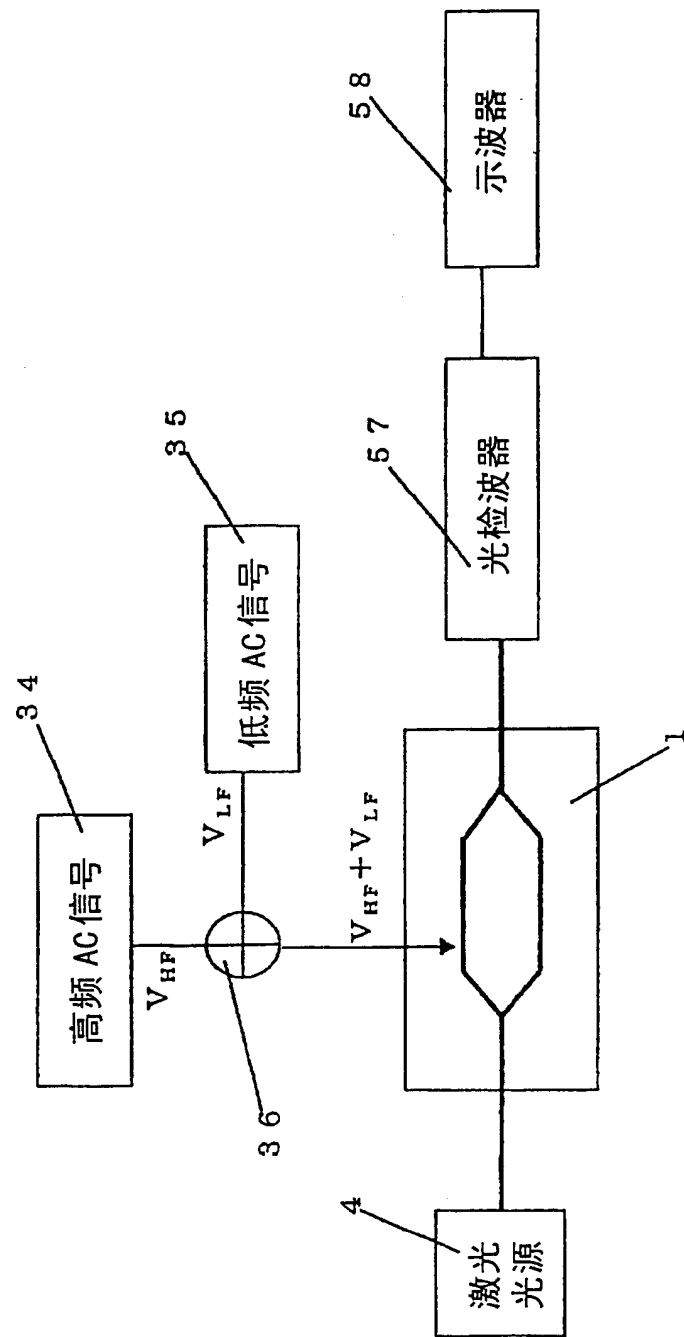


图 7

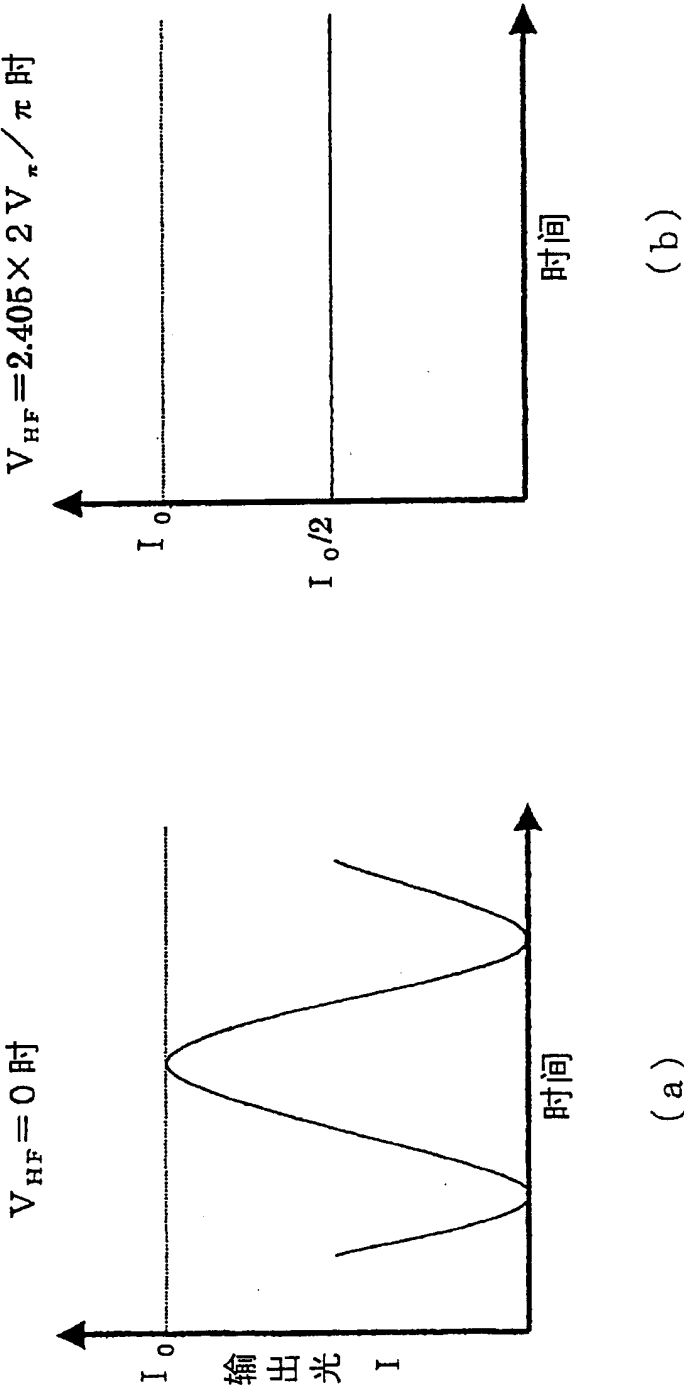


图 8

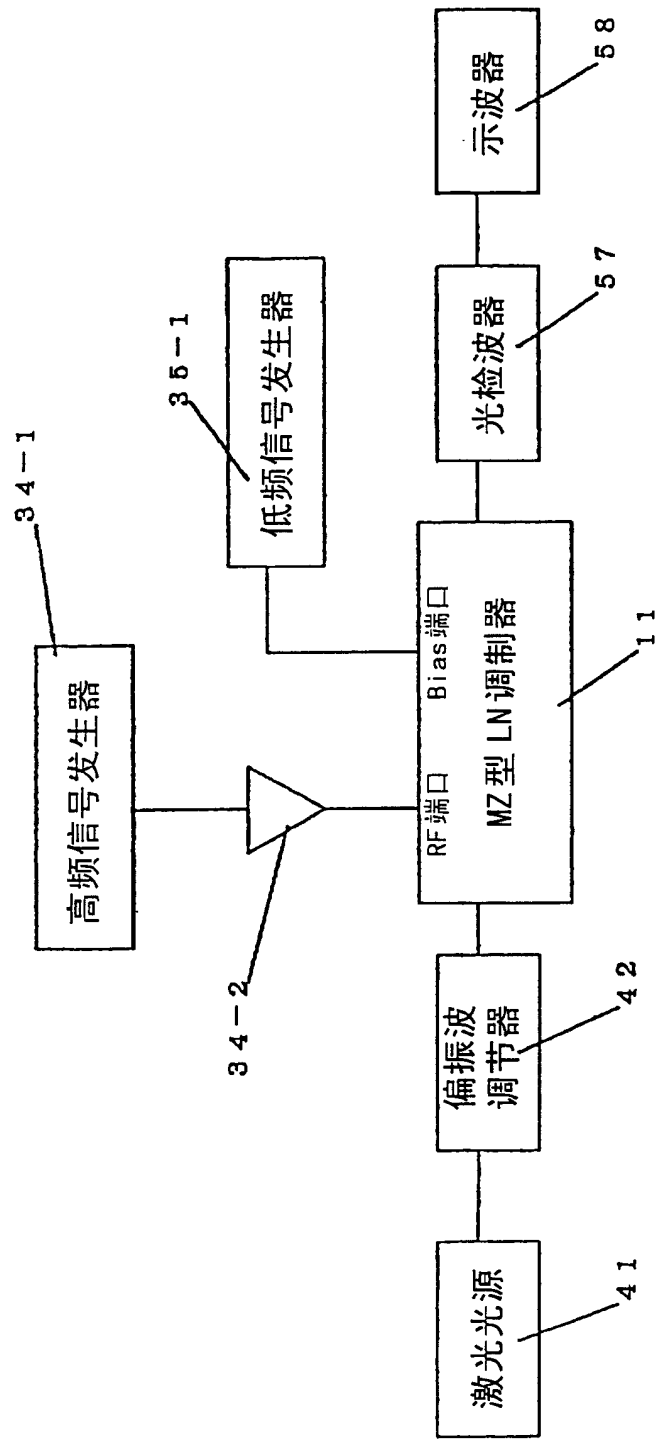


图 9

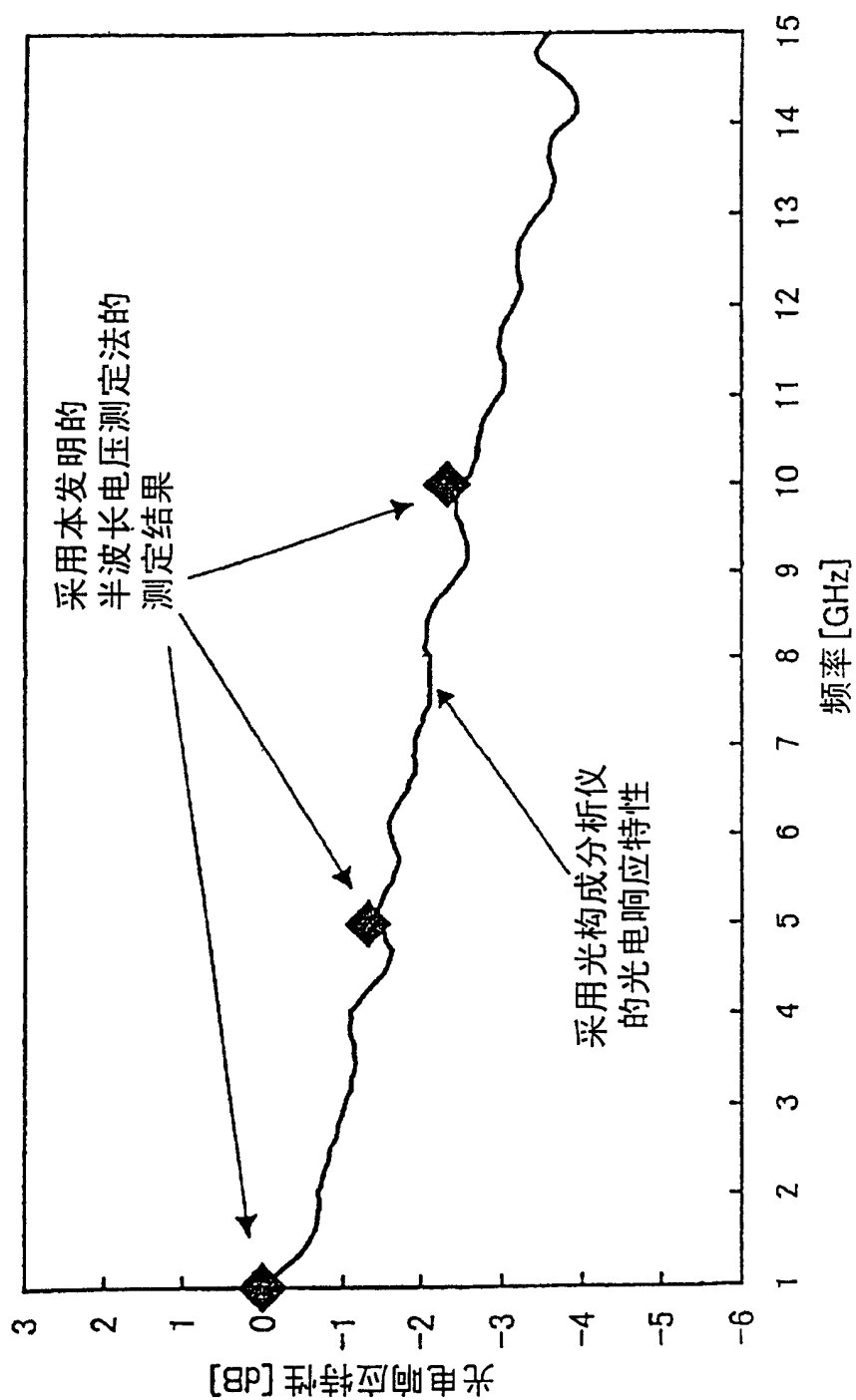


图 10