



## [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200410056994.5

[43] 公开日 2005 年 7 月 20 日

[11] 公开号 CN 1640609A

[22] 申请日 2004.8.24

[74] 专利代理机构 北京银龙知识产权代理有限公司  
代理人 郝庆芬

[21] 申请号 200410056994.5

[30] 优先权

[32] 2004. 1. 16 [33] JP [31] 2004 - 009421

[71] 申请人 日立比亚迪机械股份有限公司

地址 日本神奈川

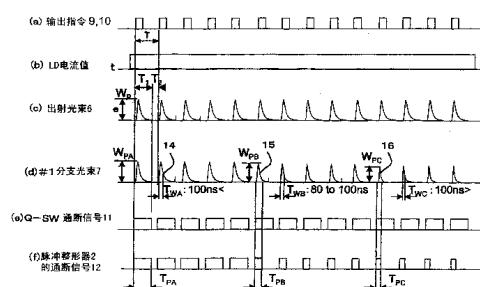
[72] 发明人 荒井邦夫 石井和久 芦泽弘明

权利要求书 1 页 说明书 11 页 附图 11 页

[54] 发明名称 激光加工方法和激光加工装置

[57] 摘要

提供一种孔位置精度和孔质量优良的激光加工方法和激光加工装置。通过脉冲整形装置对窄脉冲化处理后输出的出射光束 6 进行整形，形成#1 分支光束 7，然后将#1 分支光束 7 提供给加工部来进行加工。这种情况下，#1 分支光束 7 可以与出射光束 6 同步。另外，加工对象物由金属材料层、有机材料层和无机材料层当中的至少一个构成时，利用整形为脉冲宽度在 100ns 以上的激光加工金属材料层，利用整形为脉冲宽度不足 100ns 的激光加工有机材料层和无机材料层当中的至少一个。



1. 一种激光加工方法，通过向被加工物上照射激光来进行加工，其特征在于，对窄脉冲化处理后输出的激光波形进行整形，然后将整形后激光提供给加工部。
2. 如权利要求 1 所述的激光加工方法，其特征在于，与所述窄脉冲化处理后输出的激光的输出开始同步开始激光的整形。
3. 如权利要求 1 或 2 所述的激光加工方法，其特征在于，所述被加工物，在构成加工对象物的金属材料层、有机材料层和无机材料层当中的至少一个在厚度方向上层叠时，利用整形为脉冲宽度在 100ns 以上的激光加工所述金属材料层，利用整形为脉冲宽度不足 100ns 的激光加工有机材料层和无机材料层当中的至少一个。
4. 如权利要求 1~3 当中任意一个所述的激光加工方法，其特征在于，随着加工的进行改变所述整形后的激光的脉冲宽度和峰值输出功率。
5. 一种激光加工装置，具有输出脉冲状激光的激光振荡器，并且利用脉冲状激光来加工加工对象物，其特征在于，在所述激光的光路上设有脉冲整形器，利用所述脉冲整形器对窄脉冲化处理后输出的激光波形进行整形，然后将整形后激光提供给加工部。
6. 如权利要求 5 所述的激光加工装置，其特征在于，所述脉冲整形器与所述窄脉冲化处理后输出的激光的输出开始同步开始激光的整形。
7. 如权利要求 5 或 6 所述的激光加工装置，其特征在于，构成加工对象物的金属材料层、有机材料层和无机材料层当中的至少一个在厚度方向上层叠时，所述脉冲整形器在加工所述金属材料层和加工所述有机材料层和无机材料层当中的至少一个时，改变脉冲宽度。
8. 如权利要求 7 所述的激光加工装置，其特征在于，所述脉冲宽度在加工所述金属材料层时变更为 100ns 以上，在加工所述有机材料层和无机材料层当中的至少一个时变更为不足 100ns。

## 激光加工方法和激光加工装置

### 技术领域

本发明涉及适合于加工印刷电路板或半导体的激光加工方法和激光加工装置。

### 背景技术

UV 激光的脉冲能量取决于相对激励时间的输出释放时间，一般情况下，频率越低，得到的脉冲能量越大，随着频率的升高，脉冲能量减小。

峰值输出功率和脉冲宽度取决于脉冲频率、生成基波的晶体种类、长度和激励晶体的 LD（激光二极管）输出功率，因此随着频率的升高，输出释放时间即脉冲宽度变大。因为脉冲频率低时可能损伤晶体，因此在低频区不振荡以保护晶体，并将输出功率的最大位置设在比下限频域稍高的位置上。峰值输出功率随着频率的增加缓慢下降。

图 10 是表示适用于印刷电路板加工的典型 YVO4 激励的高峰值、窄脉冲宽度的 UV 激光输出特性的特性图。

YVO4UV 激光其基波晶体和第 3 高次谐波（THG）波长转换晶体为 External Cavity 结构，Q 开关（Q-SW）接通时，波长为 1064nm 的基波振荡，同时进行波长转换。因为使用的是对 Q-SW 应答速度快的偏振调制方式的光电装置，因此几乎没有基波残留并且脉冲宽度窄，但因为峰值强度高，晶体易受损。因此，定期移动波长转换晶体的位置，以确保装置寿命。

如该图所示，脉冲频率为 40KHz 处的最大平均输出功率约为 11W，并随着频率的增加而降低，在 100KHz 处约为 5.5W。在频率增加时，脉冲上升沿的变化小，但脉冲下降沿的倾斜缓慢增加，脉冲宽度从 25ns 增加到 35ns。脉冲能量在 100KHz 处相对 50KHz 处降低到 25%，峰值输出功率降低到 19%。

图 11 是表示与 YVO4UV 激光一样适用于印刷电路板加工的典型 YAG 激励的低峰值、大脉冲宽度的 UV 激光输出特性的特性图，为了便

于比较，以虚线表示图 10 所示的 YVO4UV 激光的频率。

YAGUV 激光其基波晶体和 THG 波长转换晶体为 Internal Cavity 结构，Q-SW 接通时，基波振荡，同时进行波长转换。因为使用的是对 Q-SW 的应答速度慢的音频光学装置，因此 Q-SW 断开后在光束通过结束之前，基波仍继续通过转换晶体。因此，输出时间即脉冲宽度大但峰值强度低，因而晶体损伤小。

如该图所示，脉冲频率为 40KHz 处的最大平均输出功率约为 11W，并随着频率的增加而降低，在 100KHz 处约为 5.5W。在频率增加时，脉冲上升沿的变化小，但脉冲下降沿的倾斜增加大，脉冲宽度从 130ns 增加到 180ns。脉冲能量在 100KHz 处相对 50KHz 处降低到 25%，峰值输出功率降低到 15%。

比较图 10 和图 11，脉冲频率在 40~100KHz 范围内的平均输出功率两者几乎相同。但是，如果以 YVO4UV 激光的 50KHz 频率为基准(100%)，YAGUV 激光在 50KHz 频率处的峰值输出功率为 20%、在 100KHz 频率处的峰值输出功率约为 4%。

从图 10 和图 11 可看出，现有激光在 40~100KHz 的脉冲频率范围内可适用的脉冲宽度取决于频率，YVO4UV 激光限定在 20~35ns 的范围内，YAGUV 激光限定在 130~180ns 的范围内。因此，如图 11 的斜线所示，无法利用适合绝缘层加工的脉冲宽度进行加工。

平均输出功率、峰值输出功率、脉冲能量、脉冲频率、脉冲宽度、材料除去量、能量密度和输出功率密度存在以下关系：

$$\text{脉冲能量 (J)} = \text{平均输出功率 (W)} / \text{脉冲频率 (Hz)}$$

$$\text{峰值输出功率 (W)} = \text{脉冲能量 (J)} / \text{脉冲宽度 (s)}$$

$$\text{除去量} \approx \text{脉冲能量} \times \text{脉冲数}$$

$$\text{能量密度 (J/cm}^2) = \text{脉冲能量 (J)} / \text{光束面积 (cm}^2)$$

$$\text{输出功率密度 (W/cm}^2) = \text{峰值输出功率 (W)} / \text{光束面积 (cm}^2)$$

即，脉冲能量与脉冲频率成反比，峰值输出功率与脉冲宽度成反比。除了热传导率高的铜等金属材料，通常情况下输出功率密度（每单位时间的能量密度）比材料的分解阈值充分大，因此除去量与总能量（脉冲

能量×脉冲数)大致成正比。因此,在最大输出功率附近进行加工时可使效率高、加工速度快。

另一方面,对于作为典型印刷电路板材料的FR-4材,作为导体层的铜导体层、绝缘层(将树脂浸渍在玻璃纤维中的层)由于材料物理参数的不同,输出功率密度和能量密度阈值存在约10倍的差(铜:玻璃纤维:树脂≈10:3:1),而且各种材质都要求有适当的条件。以下进行具体说明。

(1)在加工表面的铜导体层时,如果能量密度和输出功率密度过高,则因为在除去铜导体层瞬间以大输出功率加工导体层正下方的绝缘层,因此除去树脂后绝缘层的底部切割变大。另一方面,如果能量密度和输出功率密度过低,则供给的热量在加工部周边扩散,每个脉冲的除去量减少。因此,脉冲数增加、加工速度降低。因此,适于铜导体层加工的能量密度和输出功率密度在高峰值、窄脉冲宽度的情况下约5~10J/cm<sup>2</sup>和约150~300MW/cm<sup>2</sup>,在低峰值、大脉冲宽度的情况下约10~20J/cm<sup>2</sup>和约100~200MW/cm<sup>2</sup>。

(2)在加工玻璃纤维时,如果能量密度和输出功率密度过高,则利用表面反射光除去周边的树脂后,玻璃纤维的树脂面的突出变大,而且随着加工的进行,绝缘层的残余量减少,孔底部的铜导体层受损。另一方面,如果能量密度和输出功率密度过低,则因为每个脉冲的除去量减少,因此脉冲数增加、加工速度降低。

因此,适于玻璃纤维加工的能量密度和输出功率密度在高峰值、窄脉冲宽度的情况下约2~6J/cm<sup>2</sup>和约100~200MW/cm<sup>2</sup>。在低峰值、大脉冲宽度的情况下约3~8J/cm<sup>2</sup>和约60~120MW/cm<sup>2</sup>。

(3)在加工树脂时,如果能量密度和输出功率密度过高,则孔底部的铜导体层受损。另一方面,如果能量密度和输出功率密度过低,则孔底部的树脂残留增加,并且由于脉冲数增加,加工速度降低。

因此,适于树脂加工的能量密度和输出功率密度在高峰值、窄脉冲宽度的情况下约0.5~1.5J/cm<sup>2</sup>和约15~30MW/cm<sup>2</sup>。在低峰值、大脉冲宽度的情况下约0.7~1.5J/cm<sup>2</sup>和约10~20MW/cm<sup>2</sup>。

如上可知,以孔质量、孔形状和加工速度为基准时,适合被加工物

的各种材质的能量密度和输出功率密度的阈值存在上限值和下限值，在最大输出功率附近加工时，孔质量和孔形状劣化。例如，利用图 10 和图 11 所示的 UV 激光在铜导体层、玻璃纤维和树脂上加工  $50\mu\text{m}$  的孔径时，从合适的能量密度和输出功率密度出发，实用的脉冲频率分别被限制在约 40KHz 以下、约 60KHz 以下和约 100KHz 以下的范围内。

因此，现有技术随着加工的进行(即每次改变所加工的材质时)在 40KHz~100KHz 的频率范围内以铜导体层加工、玻璃纤维加工和树脂加工所必须的能量(或峰值输出功率)为基准改变脉冲频率来进行加工，或者以铜导体层加工所必须的能量(或峰值输出功率)为基准确定频率，对于玻璃纤维和树脂，在不改变脉冲频率的情况下，通过改变 LD 输出功率(即激光振荡器的输出功率)来调节能量(或峰值输出功率)进行加工。

但是，为了使 UV 激光输出稳定，必须将波长转换晶体温度控制在  $0.1^\circ\text{C}$  以内。即，在改变脉冲频率时，或者通过 LD 输出功率控制峰值输出功率时，如果对于 SHG、THG 用波长转换晶体 (LBO、CLBO、BBO) 的热平衡状态被破坏，则由于伴随晶体温度变化的折射率变化引起光束出射角度发生变化，结果使孔位置精度和孔形状发生劣化。

但是，即使将波长转换晶体温度控制在  $0.1^\circ\text{C}$  以内，由于时间延迟等原因，例如如果以 40KHz 的频率为基准，光束出射角度在 60KHz 时发生  $40\mu\text{rad}$  的变化，在 80KHz 时发生  $60\mu\text{rad}$  的变化，并且孔位置精度最大劣化约  $5\mu\text{m}$ 。而且，输出功率发生变化、光束模式（空间能量分布）被破坏，孔质量和孔形状劣化。

而且，因为无法确保适合于每种材料的条件，因此无法得到期望的孔位置精度、孔质量和孔形状。

例如专利文献 1 中记载的下述加工方法：使脉冲频率一定，在激光振荡器外部切换峰值输出功率，以高能量密度和高输出功率密度加工铜导体层后，切换成中能量密度和中输出功率密度进行玻璃纤维加工，最后切换成低能量密度和低输出功率密度加工树脂。

[专利文献 1]特开 2002-335063 号公报

发明内容

专利文献 1 所记载的技术可以针对铜导体层、玻璃纤维和树脂来设定脉冲频率和峰值输出功率，但在减小峰值输出功率、增加脉冲宽度时，孔底部的树脂残留增多。因此，为了减少树脂残留，必须在增大峰值输出功率的状态下减小脉冲宽度。

因此，本发明的目的是针对上述现有技术中存在的问题，提供一种孔位置精度和孔质量优良的激光加工方法和激光加工装置。

为了解决上述问题，本发明的第一技术方案是提供一种激光加工方法，其特征在于，对窄脉冲化处理后输出的激光波形进行整形，然后将整形后激光提供给加工部。

本发明的第二技术方案是提供一种激光加工装置，具有输出脉冲状激光的激光振荡器，并且利用脉冲状激光来加工加工对象物，其特征在于，设有脉冲整形器，该脉冲整形器配置在所述激光的光路上，利用本发明的第一技术方案进行加工。

本发明对窄脉冲化处理后输出的激光波形进行整形，然后将整形后激光提供给加工部，因此可以进行孔位置精度和孔质量优良的激光加工。

#### 附图说明

图 1 所示为本发明第 1 实施例的激光加工装置的结构图。

图 2 所示为本发明动作的时间图。

图 3 所示为本发明出射光束 6 和 #1 分支光束 7 的关系图。

图 4 所示为本发明出射光束 6、#1 分支光束 7 和 #0 分支光束 8 的关系图。

图 5 所示为本发明被加工物与峰值输出功率的关系图。

图 6 所示为本发明第 2 实施例的激光加工装置的结构图。

图 7 所示为本发明第 2 实施例动作的时间图。

图 8 所示为本发明的加工示例图。

图 9 所示为本发明的加工示例图。

图 10 所示为 YVO<sub>4</sub> 激励的 UV 激光的输出特性图。

图 11 所示为 YAG 激励的 UV 激光的输出特性图。

#### 具体实施方式

以下参照附图说明本发明的实施例。

### [实施例 1]

图 1 所示为本发明第 1 实施例的激光加工装置的结构图。

输出 YAGUV 激光的激光振荡器 1 通过激光电源控制器 4 与系统控制器 3 连接。配置在激光振荡器 1 输出的出射光束 6 的光轴上的脉冲整形器 2 通过脉冲整形器控制器 5 与系统控制器 3 连接。#1 分支光束 7(加工光束)被引导到省略图示的加工部，#0 分支光束 8 被引导到省略图示的阻尼器后转变为热量。激光电源控制器 4 根据系统控制器 3 输出的规定出射光束 6 的脉冲模式(脉冲宽度，即频率，和峰值输出功率)的脉冲输出指令信号 9，输出配置在激光振荡器 1 内部的 Q-SW 的通断信号 11。

脉冲整形器控制器 5 根据系统控制器 3 输出的规定脉冲模式(峰值输出功率和脉冲宽度)的输出指令信号 10，输出控制脉冲整形器 2(AOM 或 EOM。此处为 AOM。)的通断信号 12，从出射光束 6 形成用于加工的 #1 分支光束 7。脉冲整形器 2 可以控制穿透率，并且可将出射光相对入射光的峰值输出功率控制在 100~20% 的范围内。

以下说明该实施例的动作。

图 2 是表示动作的时间图，(a) 表示脉冲输出指令信号 9 和输出指令信号 10，(b) 表示供给激光振荡器 1 内部激光二极管(LD)的电流值，(c) 表示出射光束 6，(d) 表示 #1 分支光束 7，(e) 表示 Q-SW 的通断信号 11，(f) 表示脉冲整形器 2 的通断信号 12。

电流被恒定地供给到 LD，根据脉冲输出指令信号 9 接通 Q-SW 后输出出射光束 6。并且，根据输出指令信号 10 接通脉冲整形器 2 后将 #1 分支光束 7 供给到加工部。

图中，Q-SW 的接通时间 T1 为激光输出时间，Q-SW 的断开时间 T2 为激光增益存储时间，T1+T2 为脉冲周期 T。断开时间 T2 越长(即脉冲周期 T 越长)，激光增益存储量越大，出射光束 6 的峰值输出功率 WP 越高。因此，通过在 Q-SW 的接通时间 T1 内改变接通脉冲整形器 2 的时间(图中的 TPA、TPB、TPC)，可以调节 #1 分支光束 7 的脉冲宽度。

图中所示的 TWA、TWB、TWC 为脉冲整形器 2 的接通时间 TPA、

TPB、TPC 中 #1 分支光束 7 的实际脉冲宽度（是一般尺度的半值宽度），其峰值输出功率分别为 WPA、WPB、WPC。

以下说明 #1 分支光束 7 的脉冲形状。

图 3 所示为出射光束 6 和 #1 分支光束 7 的关系图。脉冲整形器 2 的穿透率为 100%。该图中的波形 A（与图 2 中的波形 14 对应）是设定脉冲整形器 2 的接通时间 TPA 使脉冲宽度 TWA 为 125ns 时、波形 B（与图 2 中的波形 15 对应）是设定脉冲整形器控制器 5 的接通时间 TPB 使脉冲宽度 TWB 为 80ns 时、波形 C（与图 2 中的波形 16 对应）是设定脉冲整形器 2 的接通时间 TPC 使脉冲宽度 TWC 为 60ns 时，#1 分支光束 7 的各种波形。

例如，比较波形 A 和波形 C，如该图所示，脉冲上升沿不变，但脉冲尾部（脉冲后半部）的能量被除去，波形 C 的能量约为波形 A 的 1/4。因此，通过改变脉冲整形器 2 的接通时间和穿透率，可以在出射光束 6 的能量的 100~50% 的范围内高精度地调节 #1 分支光束 7 的能量。

图 4 所示为出射光束 6、#1 分支光束 7 和 #0 分支光束 8 的关系图。#0 分支光束 8 的能量是出射光束 6 和 #1 分支光束 7 的能量之差，因此为该图图 (d) 所示的波形 17、18、19。该图图 (a) 为脉冲整形器 2 的通断信号 12（图 2 中的 (f)），(b) 为出射光束 6（图 2 中的 (c)），(c) 为 #1 分支光束 7（图 2 中的 (d)）。

以下说明具体的加工示例。

图 5 所示为被加工物与峰值输出功率的关系图，(a) 表示 #1 分支光束 7，(b) 表示光束模式和材质的固有阈值，(c) 表示加工结果。对于掺有玻璃的材料，外层的铜导体层 24 和内层或里面的铜导体层 28 之间配置有玻璃纤维 26 与树脂 27 一体成形的绝缘层 25。铜的能量阈值 THCU、玻璃的能量阈值 THG 和树脂的能量阈值 THR 之比约为 10: 3: 1，但是，通过照射作为光束模式 29 的脉冲宽度为 100ns 以上的 #1 分支光束 7（例如图 3 所示的波形 A）预定次数来加工铜导体层 24、照射作为光束模式 30 的脉冲宽度不足约 100ns 的 #1 分支光束 7（例如图 3 所示的波形 B）预定次数来加工玻璃纤维 26、照射作为光束模式 31 的脉冲宽度不足约

100ns 的#1 分支光束 7（例如图 3 所示的波形 C）预定次数来加工孔底部的树脂 27，就可以加工出形状精度优良且孔底部没有树脂 27 残留的孔。

以下进行更具体的说明。

### 1) 关于加工质量

例如，在脉冲频率为 40KHz、脉冲宽度在 100ns 以上、能量密度约为  $12\text{J}/\text{cm}^2$ 、输出功率密度约为  $160\text{MW}/\text{cm}^2$  的条件下进行铜导体层的加工，接着在脉冲宽度不足 100ns、能量密度约为  $4\text{J}/\text{cm}^2$ ，输出功率密度约为  $70\text{MW}/\text{cm}^2$  的条件下进行玻璃加工，然后在脉冲宽度在 80ns 以下、能量密度约为  $1\text{J}/\text{cm}^2$ ，输出功率密度约为  $12\text{MW}/\text{cm}^2$  的条件下进行树脂加工，就可以进行孔质量优良的加工。

在加工树脂时，不论脉冲宽度和峰值输出功率为多少，都可以在加工能量一定的情况下使除去量相同。但是，因为孔底部的损坏和孔底部的树脂残留具有折衷关系，在峰值输出功率低、脉冲宽度大的情况下，孔底部的树脂残留多。与此相对，在降低频率、确保峰值输出功率的状态下减小脉冲宽度后，可以减少树脂残留，从而提高孔的质量。

在利用 UV 激光加工盲孔（有底孔）时，因为材料的能量吸收率较高，因此在能量分布不均时会损伤孔底部。因此，最好通过未图示的光束整形单元使#1 分支光束 7 的光束形状成为所谓的平顶光束。

### 2) 关于加工位置精度

例如，在加工铜导体层为  $12\mu\text{m}$ 、绝缘层厚度为  $80\mu\text{m}$  的 FR-4 材时，加工所必须的脉冲数对于铜导体层为 10~15 个脉冲，对于绝缘层的玻璃部分为 50~70 个脉冲，对于孔底部为 5~10 个脉冲。因此，在调节脉冲频率、LD 电流的现有方法中，由于晶体的热变化而引起的光束出射角的变化约为  $60\mu\text{rad}$ ，因而光学系统的孔位置精度误差约为  $5\mu\text{m}$ 。

与此相对，通过本发明（即脉冲频率、脉冲输出功率一定，在振荡器外部调节实际脉冲宽度和实际峰值输出功率）使晶体的热变化最小化，从而使光束的出射角变化降低到最大  $20\mu\text{rad}$  以下，光学系统的孔位置精度误差在  $2\mu\text{m}$  以下。

在本发明中，可以调节同一光束的峰值输出功率和脉冲宽度两者，

从而使输出功率调节范围扩大到 20 倍，可以高质量地加工能量阈值具有约 10 倍差的 FR-4 材（由铜和掺有玻璃纤维的树脂构成）。

但是可能出现 Q-SW 的通断信号 11 相对脉冲输出指令信号 9 延迟时间 TD 的情形。

### [实施例 2]

图 6 所示为本发明第 2 实施例的激光加工装置的结构图，与第 1 实施例的图 1 相同的部件或功能相同的部件使用相同的符号并省略重复说明。

光学传感器 22 与脉冲整形器控制器 5 连接，在检测出脉冲整形器 2 表面反射的反射光 21 后，将检测信号 10a 输出到脉冲整形器控制器 5。光学传感器 22 的动作速度为数 ns 左右。

在该实施例中，系统控制器 3 向脉冲整形器控制器 5 指示脉冲模式信号 23，即脉冲整形器 2 的接通时间 T2。

图 7 所示为该实施例动作的时间图，(a) 表示脉冲输出指令信号 9 和输出指令信号 10，(b) 表示供给激光振荡器 1 内部的 LD 的电流值，(c) 表示出射光束 6，(d) 表示#1 分支光束 7，(e) 表示 Q-SW 的通断信号 11，(f) 表示光学传感器 22 的检测信号 10a，(g) 表示脉冲整形器 2 的通断信号 12。

如该图所示，在该实施例中，即使 Q-SW 的通断信号 11 相对脉冲输出指令信号 9 延迟时间 TD，因为在确认输出了出射光束 6 输出后使脉冲整形器 2 动作，因此可以使输出指令信号 12 与 Q-SW 的通断信号 11 实质同步。结果可以使#1 分支光束 7 的波形精度高且均匀。

另外，也可以不是将光学传感器 22 设在振荡器 1 的外部，而是将光学传感器 22 设在振荡器 1 的内部来捕捉反射光、分支光和散射光。

上述第 1 和第 2 实施例根据被加工物材质的不同分级改变#1 分支光束 7 的脉冲宽度和峰值输出功率，但也可以随着加工的进行连续地改变#1 分支光束 7 的脉冲宽度和峰值输出功率，或者分级和连续并用来进行调节。如此连续地或分级和连续并用来调节#1 分支光束 7 的脉冲宽度和峰值输出功率进行控制，可以提高例如铜与绝缘层的交界部分或绝缘层

与孔底部导体层的交界部分的质量。

在以较大的脉冲宽度（即脉冲宽度大的#1 分支光束 7）加工铜导体层时，会产生孔入口处形成飞散物或孔入口形状变大等的影响，但可以通过根据加工材质的不同选择脉冲整形器 2 的穿透率和接通时间 T2 来改善。

但是，在将音频光学装置（AOM 或 EOM）用于脉冲整形器 2 时，脉冲宽度受到超声波的晶体内光束直径通过时间  $\tau$  ( $\tau=D/V$ 。这里的 D 为光束直径，V 为超声波的晶体通过速度。) 的影响。即，入射到脉冲整形器 2 的入射光束直径 D 越大，通过时间（应答速度） $\tau$  越长，输出上升越平缓。

晶体为  $\text{SiO}_2$  时， $V=5.96\text{Km/s}$ ，因此在例如  $D=0.3\text{mm}$  时，应答速度  $\tau$  为 50ns。而且，超声波到达光束的延迟时间在变频器（超声波的振荡源）到光束间的距离为 0.3mm 时为 50ns。因此，实际应用当中，用于控制脉冲宽度的范围为 50ns 以上。

另一方面，超声波的频率为 40MHz 时，电分解能为 25ns（全波整流为 12.5ns）。因此，为了使分解能最小化，通过使 AOM（脉冲整形器 2）的接通信号相对光学传感器 22 的检测信号同步，或者设置多个时钟并选择最近的时钟来接通 AOM，可以将电延迟缩短到数 ns。

另外，将偏振调制方式的光电装置和  $\lambda/4$  板以及布鲁斯特板组合成脉冲整形器 2 时，可以将应答速度提高到数 ns，因而可将脉冲宽度控制在 20~100ns。而且，因为可以控制脉冲上升沿，从而可以更为细致地控制 #1 分支光束 7 的形状。

其它没有特别说明的各部分与上述第 1 实施例结构相同、功能相同。

本发明不限于掺玻璃材料，如图 8 所示，对于使用附树脂铜导体层 RCC 材（由铜导体层的导体层、树脂绝缘层构成）的组合层的有底孔加工和仅有树脂绝缘层的组合层的有底孔加工同样有效。

在第 1 实施例中，Q-SW 的通断信号 11 相对脉冲输出指令信号 9 所延迟的延迟时间 TD 已知的情况下，如果设置有定时元件，并且脉冲输出指令信号 9 输出后在延迟时间 TD 后脉冲整形器 2 动作，则不必设置第 2

实施例中说明的光学传感器 22。

本发明如图 9 所示，脉冲整形器 2 根据材质适用最恰当的光束模式，从而也可以适用于多层电路板（由外层铜导体层、内层铜导体层、掺玻璃组合层和掺玻璃核心层 32 构成）的通孔（贯通孔）加工。

本发明的窄脉冲化处理也可以适用于 Internal Cavity 结构和 External Cavity 结构的长脉冲激光，例如从以 YAG 激光、YLF 激光（YVO4 激光）为基波的 UV 激光到可见光激光再到近红外激光。

如上所述的实施例可以产生以下效果。

即，激光振荡器输出的脉冲频率和脉冲输出功率一定，并且在激光振荡器外部调节实际的脉冲宽度和实际的峰值输出功率，因此可以使激光振荡器内部的热变化最小，从而可以提高加工的位置精度。

另外，因为可以在 100%~5% 的范围内高精度地调节脉冲能量，因此即使是能量阈值存在约 10 倍差的 FR-4 材（由铜和掺玻璃纤维的树脂构成），也可以进行高质量的加工。

而且，因为可以利用现有技术无法采用的例如 25~110ns 的脉冲宽度（40KHz 时）进行加工，因此容易控制孔质量和孔形状。

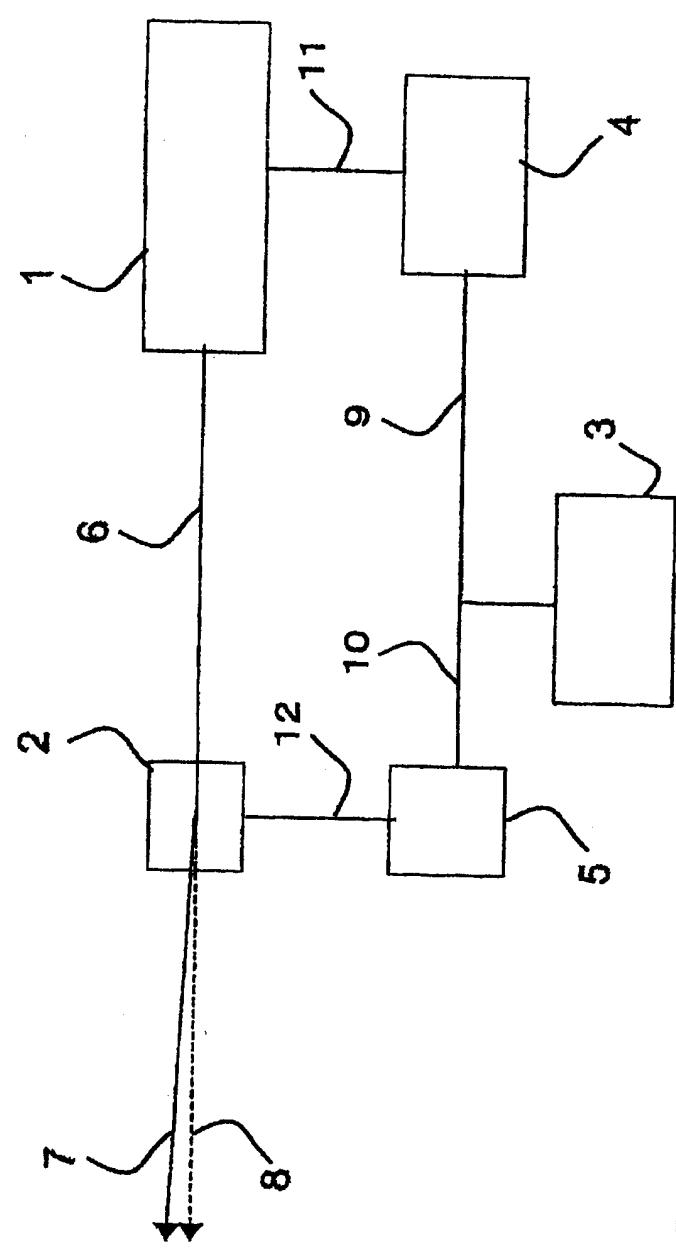
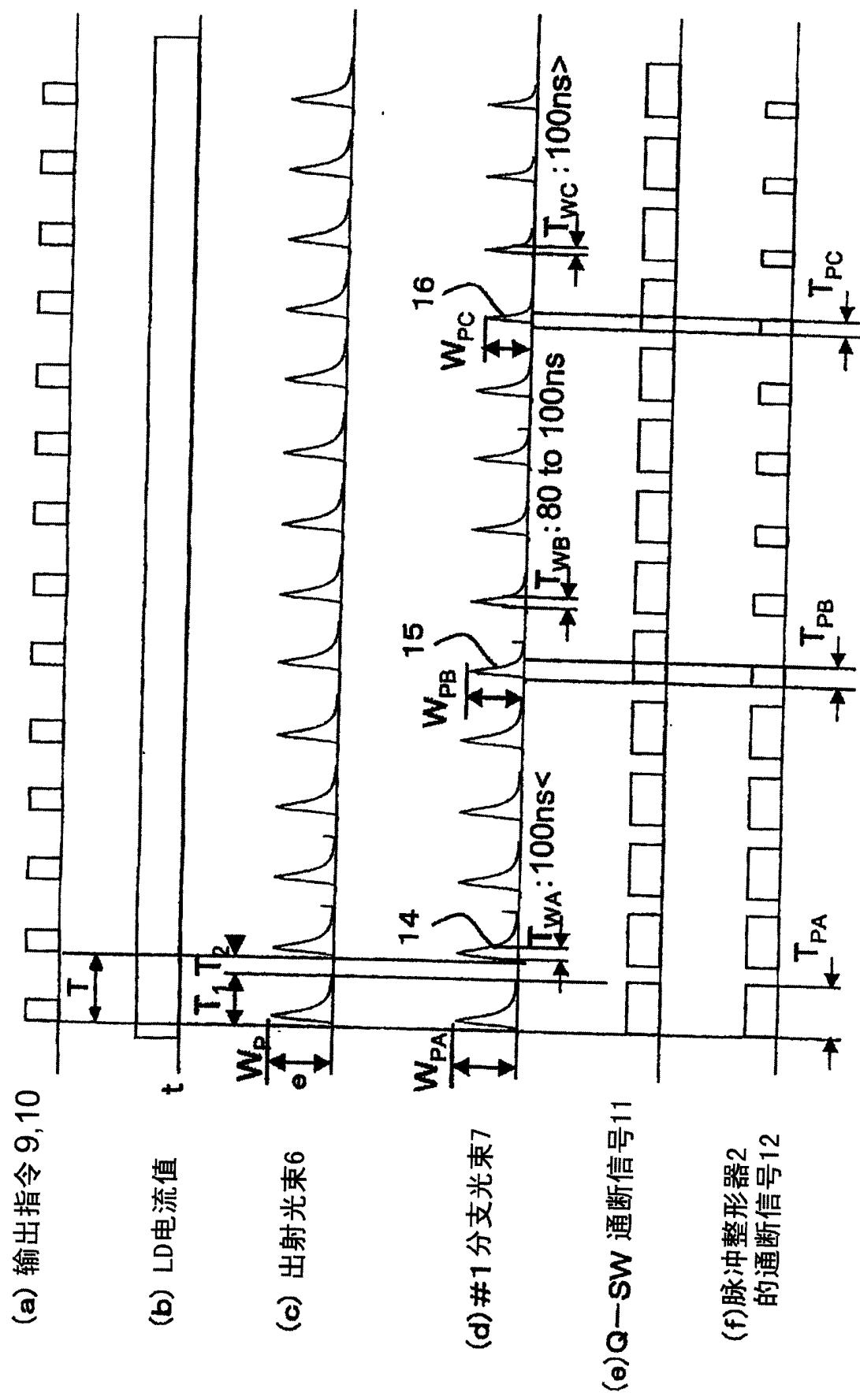


图1

图2



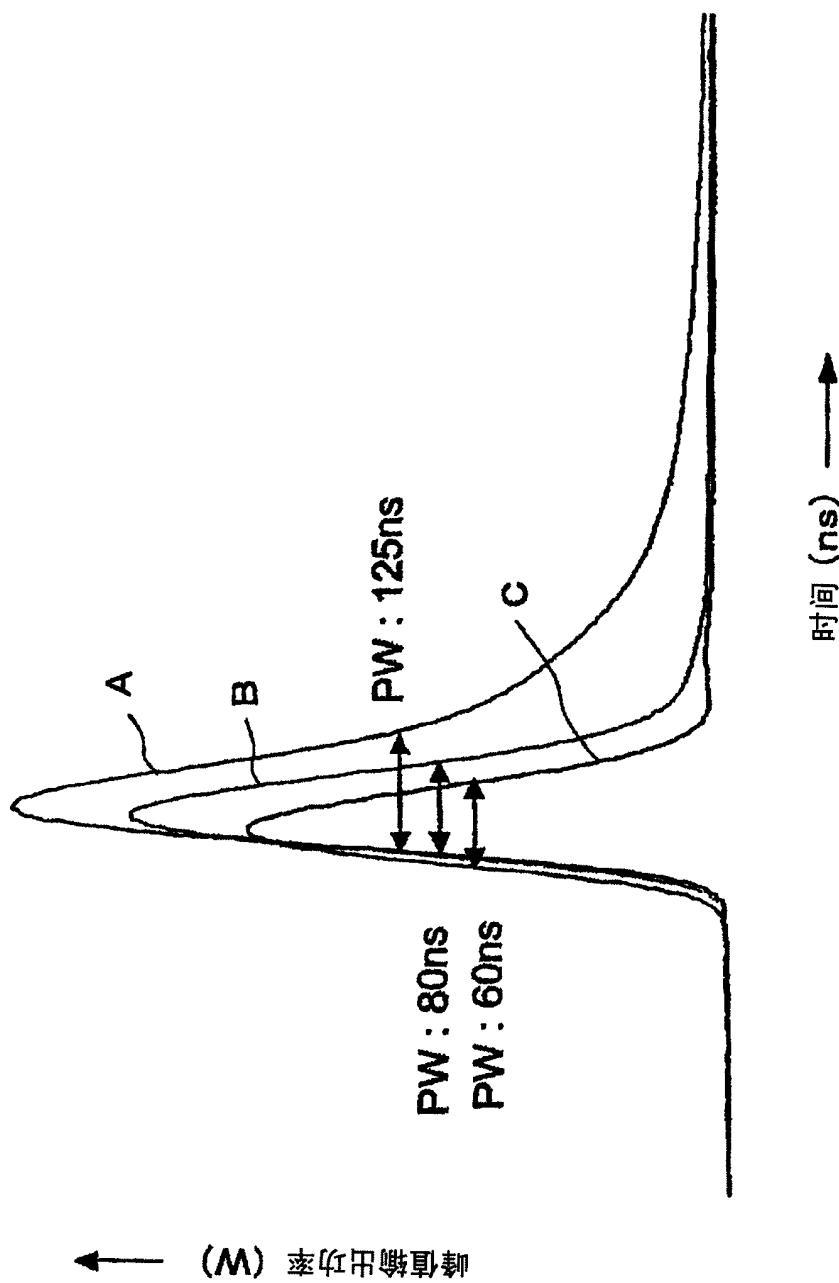


图3

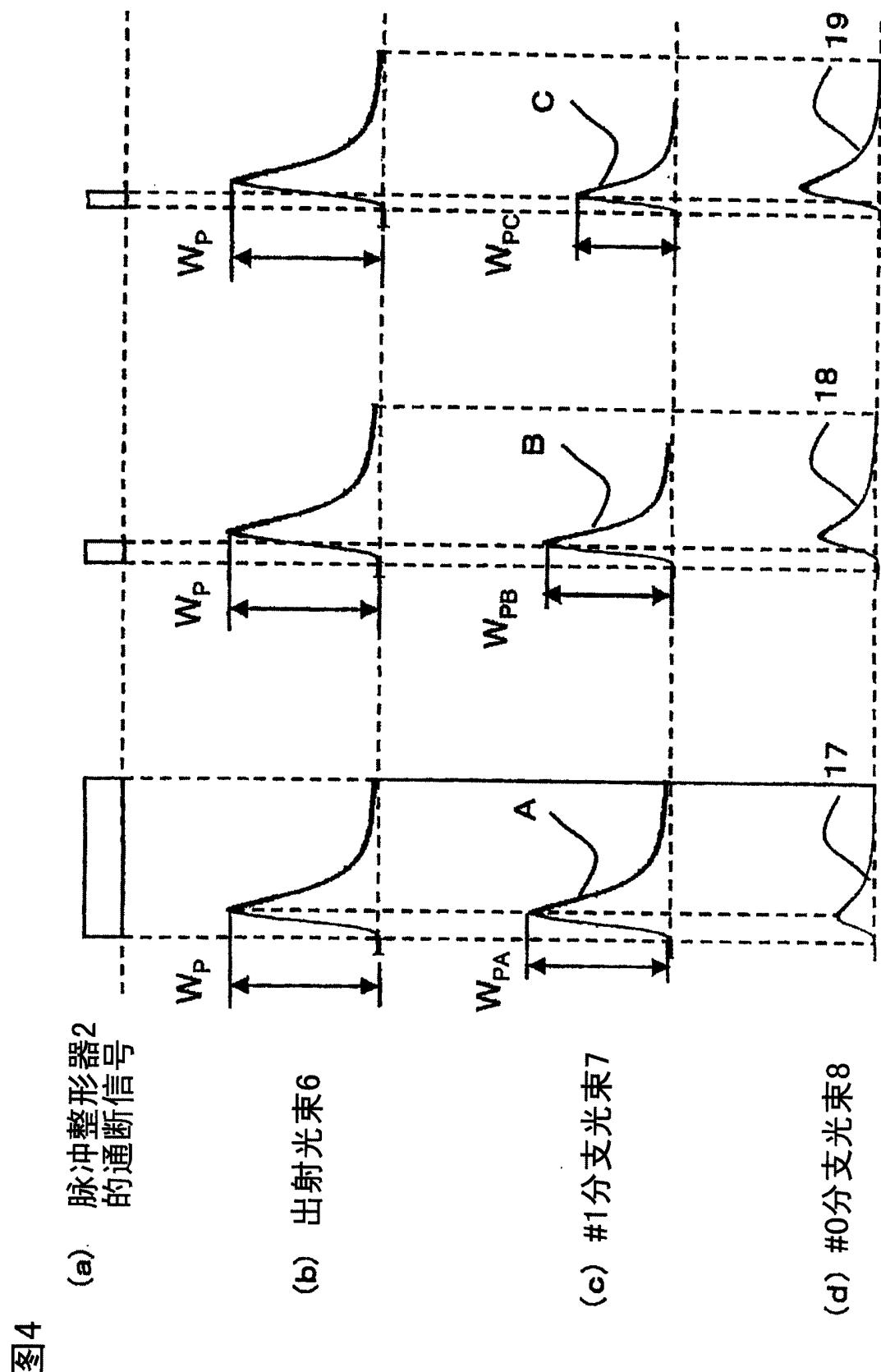
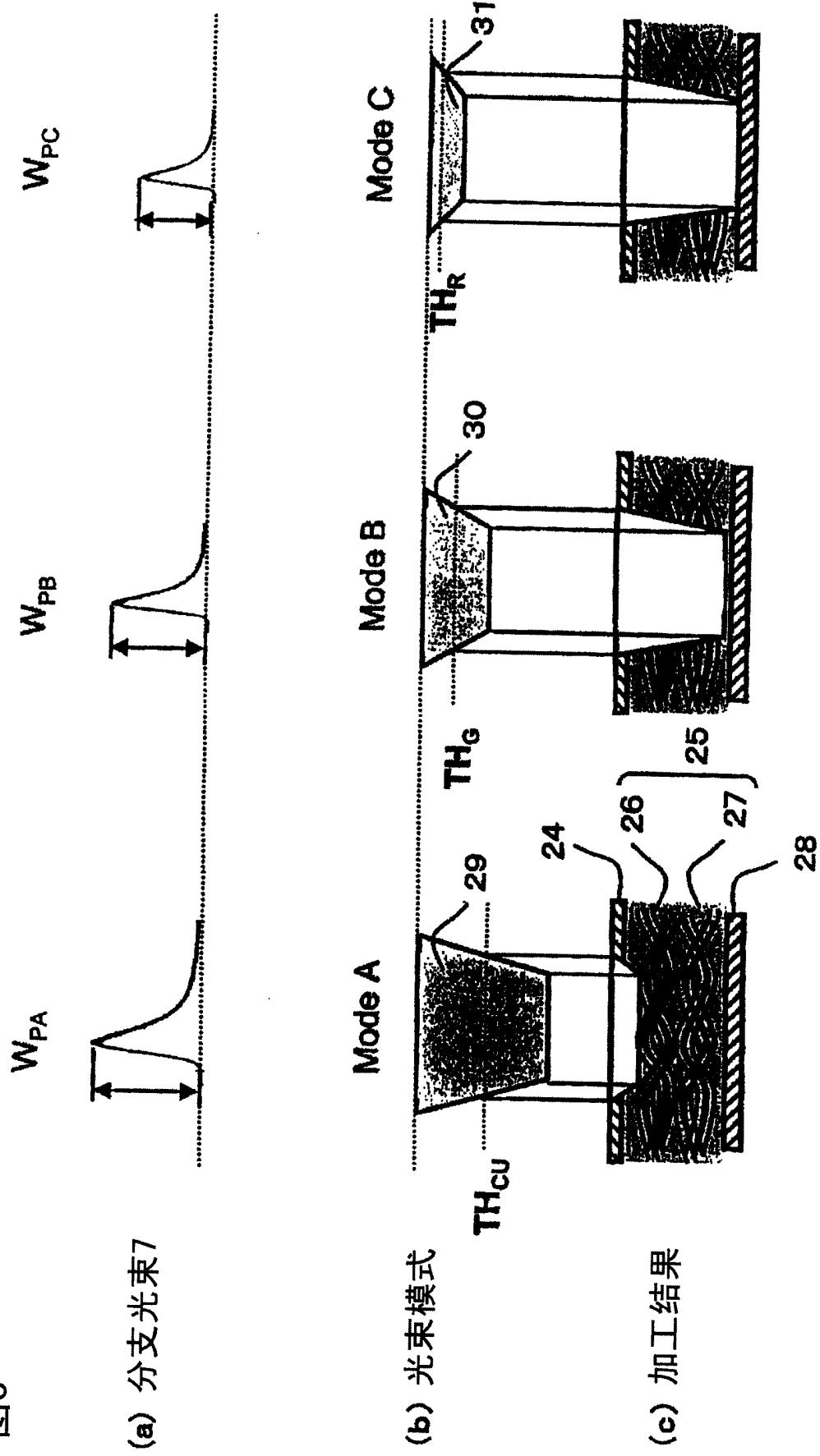


图5



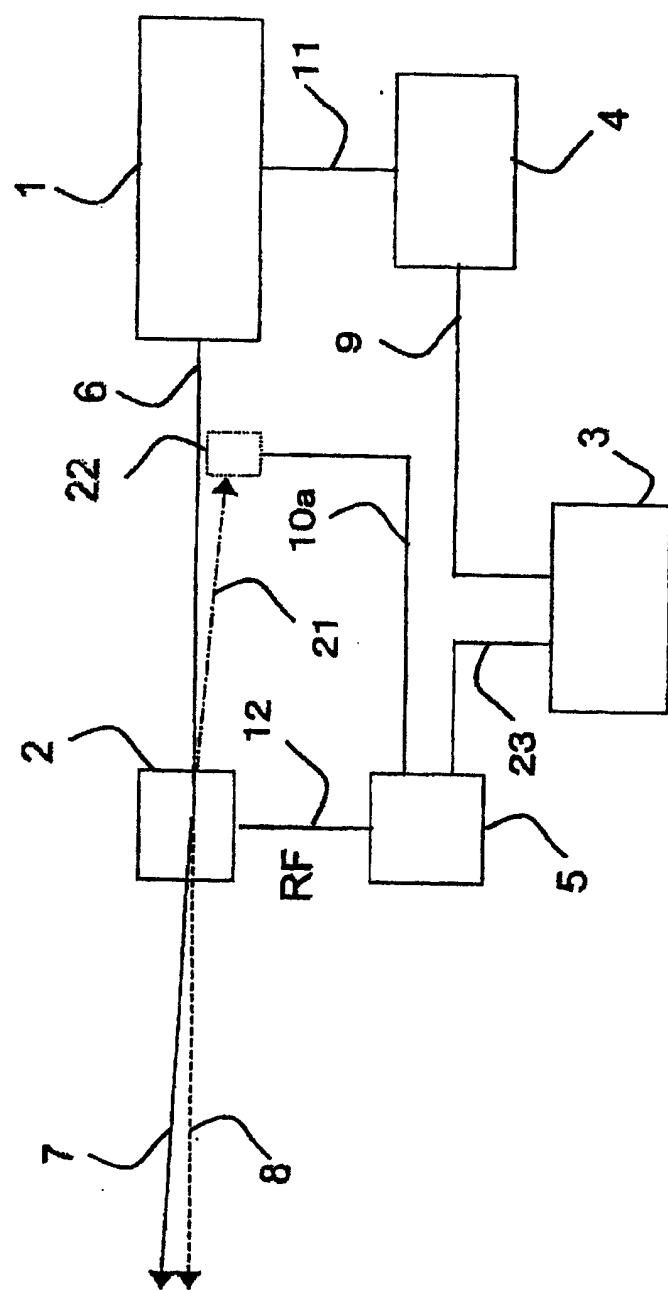


图6

图7

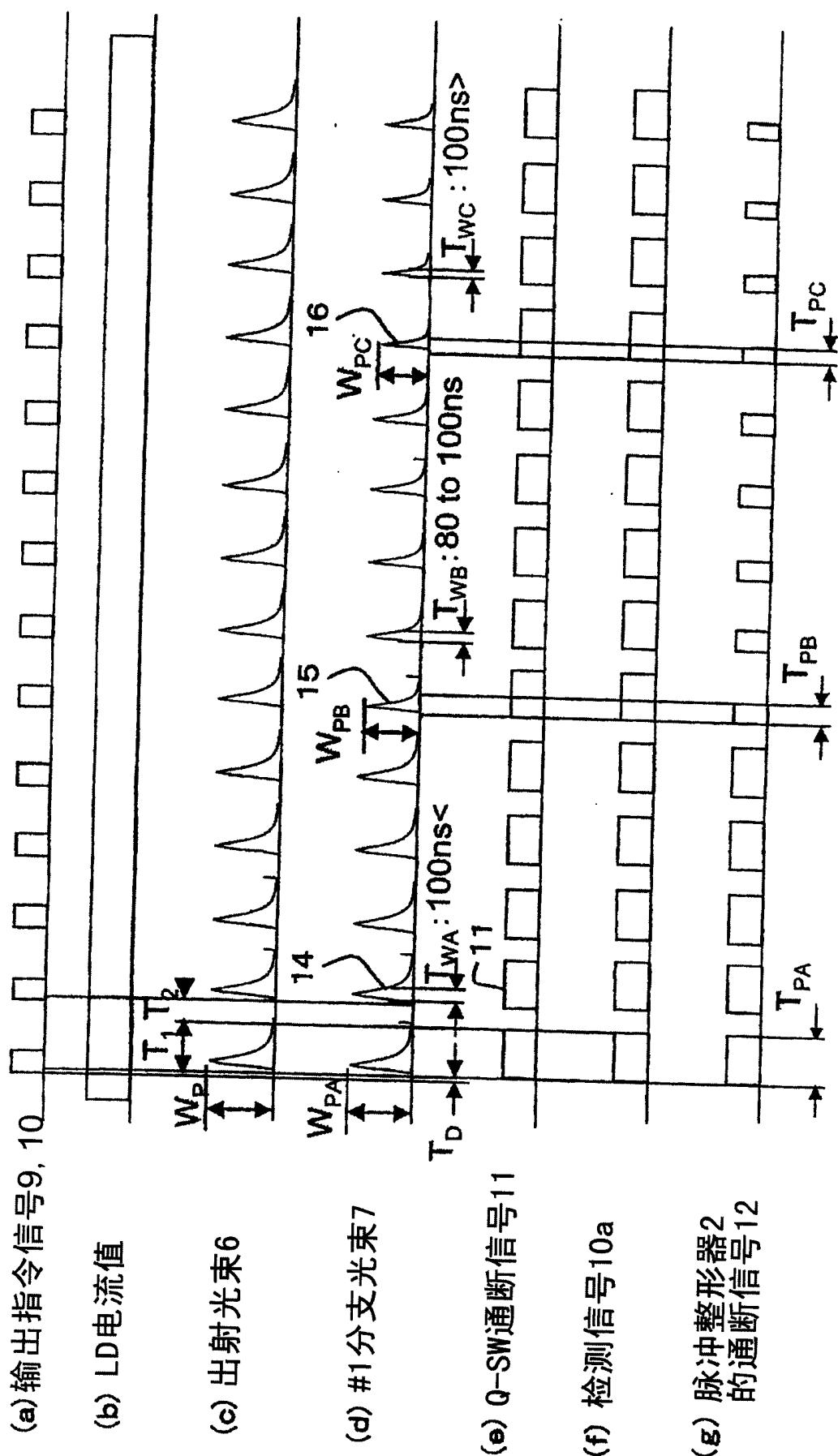
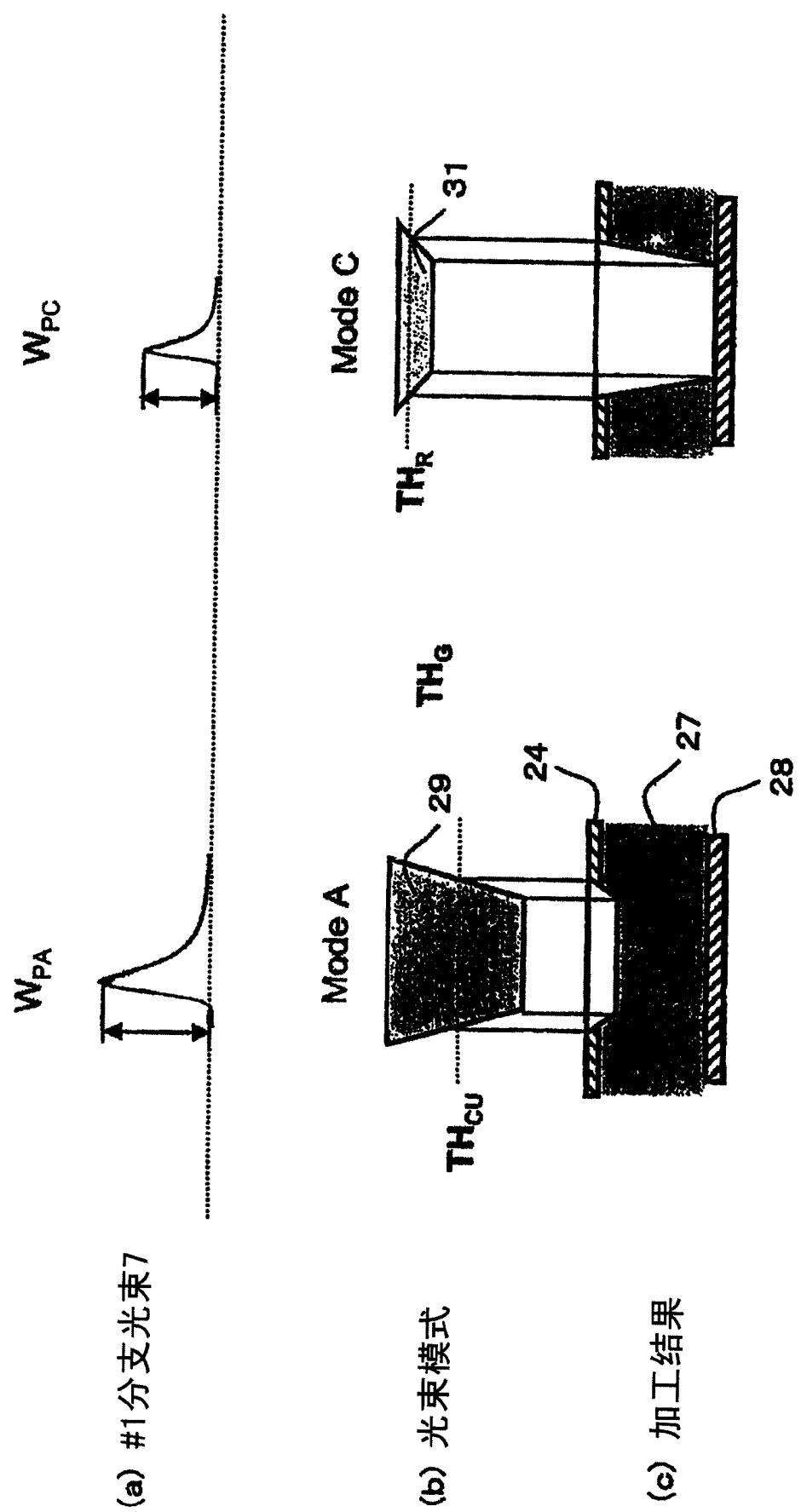
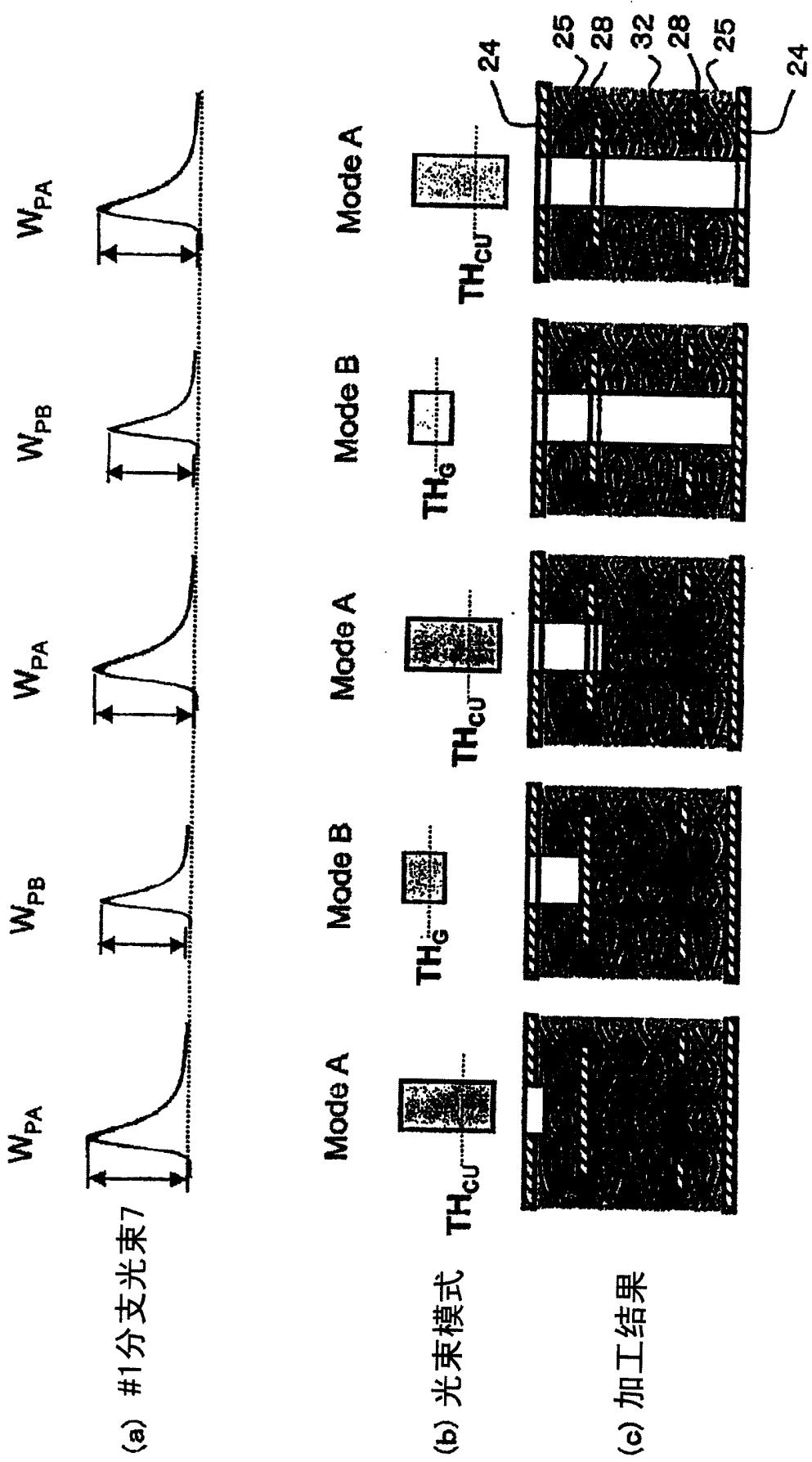


图8



6



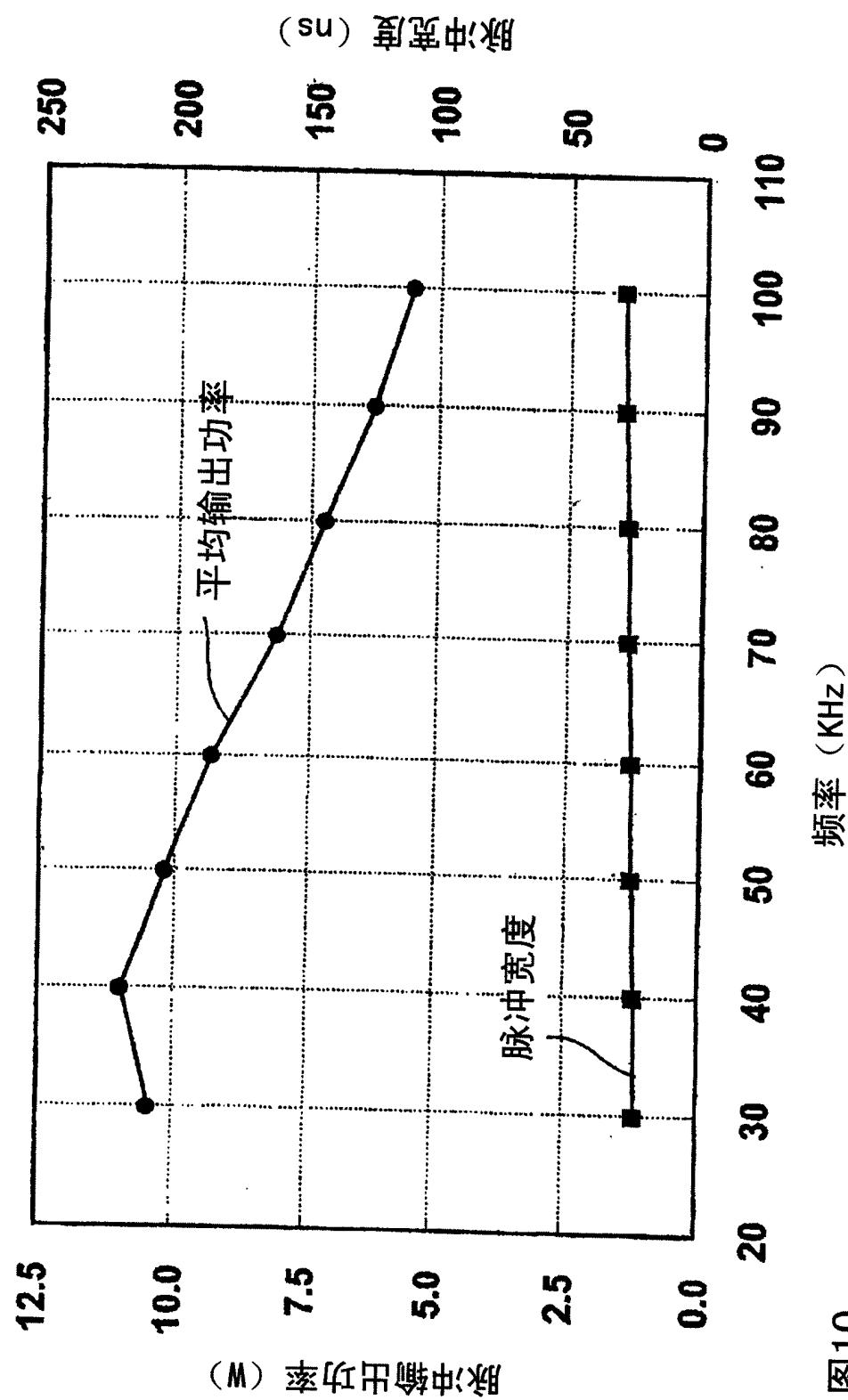


图 10

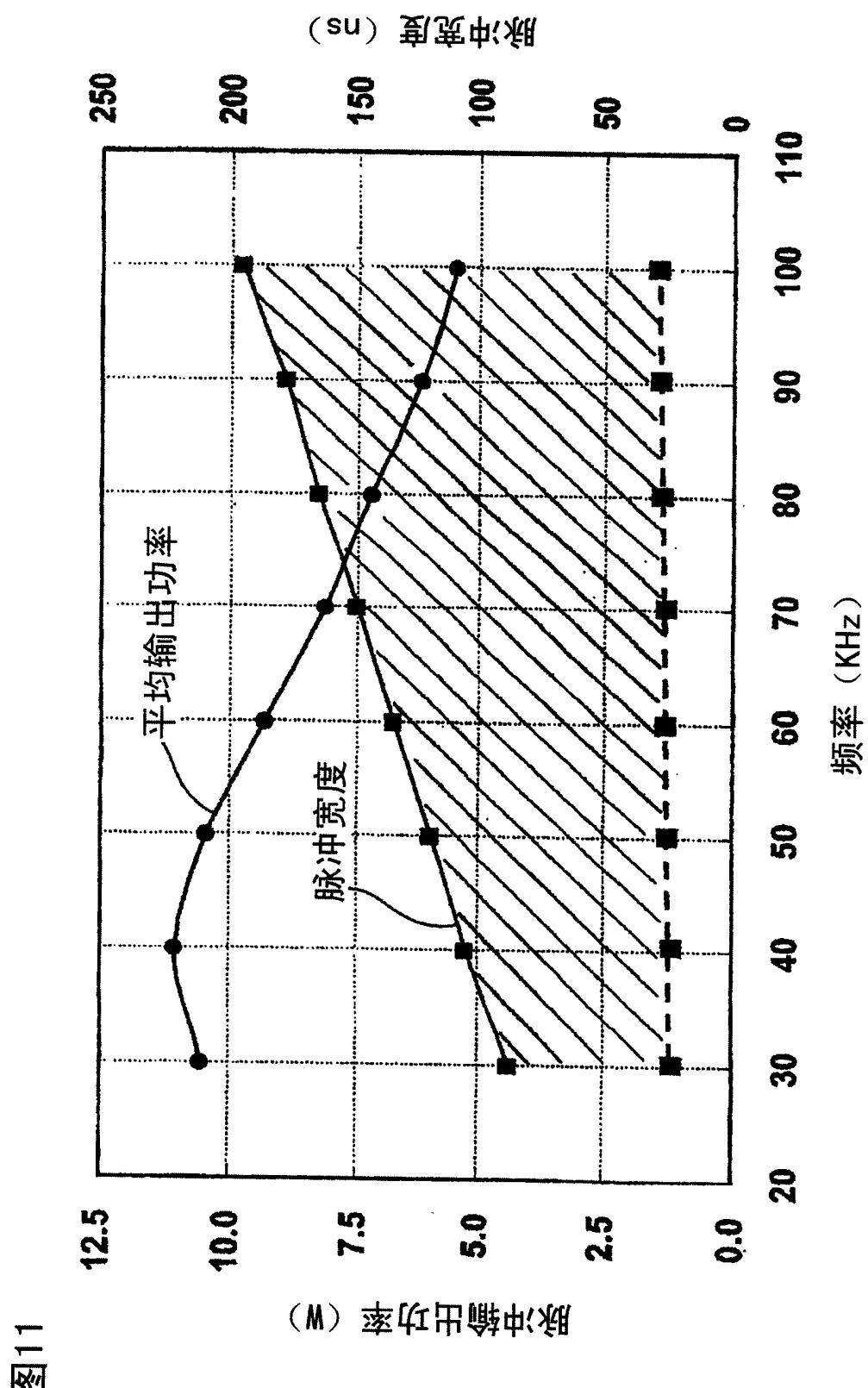


图11