[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl[7]
B23K 26/38
H05K 3/00

[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 98106323.3

[45] 授权公告日 2003 年 9 月 24 日

[11] 授权公告号 CN 1121924C

[22] 申请日 1998.3.31 [21] 申请号 98106323.3

[30] 优先权

[32] 1997. 9.24 [33] JP [31] 258206/1997

[71] 专利权人 三菱电机株式会社

地址 日本东京

[72] 发明人 汤山崇之 金岡優

审查员 吴坤军

[74] 专利代理机构 上海专利商标事务所

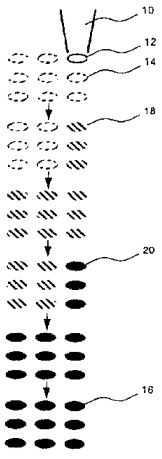
代理人 孙敬国

权利要求书 1 页 说明书 9 页 附图 16 页

[54] 发明名称 激光加工方法

[57] 摘要

一种激光加工方法，将规定振荡频率的激光束分成任意数的脉冲照射区域内的所有孔，并重复这一工序直至照射所希望数的脉冲，由于相互作用时间取决于分割数并能获得冷却时间，同时取每分割的脉冲数为多个脉冲，故能提高刻蚀速率，比对所有孔一个一个脉冲照射情况加工所需脉冲数少。上述方法能高质量、高效率地对印刷板进行开孔加工。



ISSN1008-4274

1. 一种激光加工方法，用激光束对印刷板加工多个孔，该激光具有多个脉冲，其特征在于，

具有下述步骤：将加工所述多个孔中的每一个孔所需的激光束的脉冲数分成n份的步骤，其中，n是大于等于2、且小于所述激光束为了加工所述孔所需的脉冲数目的整数；以及按照规定的振荡频率将分割后的脉冲数的每一脉冲数的激光束依次照射各孔并对所有孔进行加工的步骤，

并且，n次重复按照规定的振动频率将所述分割后的脉冲数的每一脉冲数的激光束依次照射各孔并对所有孔进行加工的步骤。

2. 如权利要求1所述的激光加工方法，其特征在于，在上述n次重复进行加工的步骤中，还包含：改变所述激光束的脉冲宽度或峰值输出，或改变脉冲宽度以及峰值输出的步骤。

激光加工方法

本发明涉及激光加工方法，具体而言，是一种用多个脉冲的激光束对印刷板加工多个孔的激光加工方法，例如，涉及对印刷板加工路径孔或通孔的激光加工方法。

近年来，在成品或元器件制造的加工工序等中，正在极广泛地应用激光束。这种激光束是一种振幅和波长都相等的特殊的相干光，不同于自然光那样的包含多种振幅和波长的非相干光。

作为已有技术的激光加工方法之一，在用多个脉冲的激光束加工多个孔的情况下，有按照预先设定的振荡频率对各个孔照射预先设定的数个脉冲的方法。下面在本说明书中，将该方式称为“方式 A”。

作为与上述不同的激光加工方法，有在使用电扫描反射镜情况下，对扫描区内所有孔一枪(shot)一枪照射激光束脉冲，在一枪一枪照射完区内所有孔后，再从最初的孔开始再一次一枪一枪照射，反复这样进行至设定数的方法。下面本说明书中将该方式称为“方式 B”。

图 15 表示用激光束对印刷板加工路径孔的剖面图。图 15(a)所示为印刷板 50 的绝缘层由树脂单体构成，图 15(b)所示为印刷板 62 的绝缘层由无机质基材浸渍树脂构成。

图中，印刷板 50 或 62，在电路芯板 52 上配置连接用焊区 54，其上形成构成绝缘层的环氧树脂 56 或混合有玻璃布 66 的玻璃环氧树脂 64 之后，经激光束激光加工形成路径孔 58，再在整个面上镀以图形(patter plating)60。

这样一来，可用上述的“方式 A”或“方式 B”的激光加工方法来制作如图 15(a)、(b)所示形成在印刷板 50、62 上的路径孔 58。特别是如图 15(a)所示，当绝缘层用树脂单体构成时，无论使用“方式 A”或“方式 B”，在加工质量上没有差别。

因此，从能缩短加工时间及生产率方面考虑，通常使用“方式 A”并取高振荡频率进行加工。这里所谓取高振荡频率(高频)就是将振荡频率设定得大于为定位多个孔所需时间的倒数所求得的频率。在低于该频率上，“方式 A”比“方式 B”

的生产率还低。

这里，以检流计式反射镜为例说明这种加工时间的考虑。图 16 中，示出了脉冲数与加工时间相对于“方式 A”和“方式 B”的各振荡频率的关系曲线图。这里对可在 2.5 毫秒定位的电扫描给出振荡频率与加工时间的关系。因该电扫描可在 2.5 毫秒定位，故若取其倒数就成为 400Hz。

如图 16 所示，当取振荡频率为 400Hz 时，由于与电扫描频率(重复周期)恰好相等，故“方式 A”与“方式 B”加工时间相同。当振荡频率低于 400Hz 时(图 16 中为 200Hz 的情况)，“方式 A”比“方式 B”加工时间长。相反，振荡频率高于 400Hz 时(图 16 中为 800Hz 的情况)，“方式 A”比“方式 B”加工时间短。

但是在上述已有技术的激光加工方法中，如图 15(b)所示可知，在将玻璃布或陶瓷等无机质使其浸渍于树脂用作印刷板绝缘层的基材情况下，“方式 A”与“方式 B”在加工质量上产生明显的差别。

目前，在使用二氧化碳激光对印刷板加工孔时，一般使用电扫描方式，检流计式反射镜产生的激光束移动及定位的时间短，最快相当于 400Hz。因此，如上所述，用“方式 A”，若不设定为比 400Hz 高的频率，在生产率方面没有优点。但是，图 15(b)中玻璃环氧树脂 64 等，其环氧分解温度约为 600K(327℃)，而玻璃转变温度约为 1100K(827℃)。

这样一来，在热性质明显不同的材料情况下，若激光束振荡频率取得高，则激光与材料的相互作用时间变长，有选择地更多地分解除去环氧部分。为此，加工孔的壁面呈玻璃纤维突出的状态，故在该表面不能镀成很好的图形 60，存在所谓加工质量差的不良情况。

与此相反，在将所述“方式 B”的激光加工方法与电扫描方式组合运用情况下，电扫描区内孔越多，则同一孔重复照射间隔时间越长。换言之，因为如此，使加工材料冷却，故缩短了相互作用时间，难以发生有选择地分解除去环氧树脂的现象，能获得良好的加工质量。但是，在用“方式 B”加工情况下，当每孔照射多个脉冲时，除了 1 个孔用 1 个脉冲进行加工的情况之外，加工时间都会变长，故存在生产率比“方式 A”明显下降的不良情况。

本发明鉴于已有技术存在的有关不良情况，其目的在于提供一种能高质量高生产率对印刷板开孔加工的激光加工方法。

为实现上述目的，在本发明的激光加工方法中，用激光束对印刷板加工多个

孔，该激光具有多个脉冲，其特征在于，具有下述步骤：将加工所述多个孔中的每一个孔所需的激光束的脉冲数分成 n 份的步骤，其中，n 是大于等于 2、且小于所述激光束为了加工所述孔所需的脉冲数目的整数；以及按照规定的振荡频率将分割后的脉冲数的每一脉冲数的激光束依次照射各孔并对所有孔进行加工的步骤，并且，n 次重复按照规定的振动频率将所述分割后的脉冲数的每一脉冲数的激光束依次照射各孔并对所有孔进行加工的步骤。

按照上述方法，对印刷板加工孔时所需激光束的脉冲数被分成 n 份，将分割后的脉冲数的每一脉冲数的激光束依次照射各孔并对所有孔进行加工，并且 n 次重复所述加工步骤。由此，与“方式 A”一样，对一个孔照射多个脉冲的激光束，但并不是照射加工孔时所需的激光束的脉冲数，而是照射将所需脉冲数加以分割的某个脉冲数的激光束就结束一个工序。

接着，重复这样的工序多次，结果，照射各加工孔所需的激光束的脉冲数，被加工到最终加工深度。分配给工序的激光束的某个脉冲数取决于加工对象的材料、板厚及所需质量等。

在本发明另一激光加工方法中，在上述 n 次重复进行加工的步骤中，还包含：改变所述激光束的脉冲宽度或峰值输出，或改变脉冲宽度以及峰值输出的步骤。

按照上述方法，由于在加工印刷板孔的多个工序的中途改变激光束的脉冲宽度以及峰值输出的某一种或改变两者，故能适当控制激光束与加工对象的材料的相互作用时间和刻蚀速率，因而能稳定加工质量同时提高生产率。

附图概述

图 1 为说明“方式 A”加工方法的概念图；

图 2 为说明“方式 B”加工方法的概念图；

图 3 为“方式 A”加工时表示加工孔的孔底状态图；

图 4 为“方式 A”加工时表示加工孔的孔表面状态图；

图 5 为“方式 B”加工时表示加工孔的孔底状态图；

图 6 为“方式 B”加工时表示加工孔的孔表面状态图；

图 7 所示为用“方式 A”低振荡频率加工的结果；

图 8 所示用“方式 B”高脉冲能量加工的结果；

图 9 为表示图 8 中区域 III 的铜箔受损的外观图；

图 10 为实施形态 1 激光加工方法的概念图；

图 11 为表示“方式 C”加工时加工孔的孔底状态图；

图 12 为表示“方式 C”加工时加工孔的孔表面状态图；

图 13 为表示“方式 A”、“方式 B”和“方式 C”中热影响层的定量图；

图 14 为表示“方式 C”中改变脉冲宽度或峰值输出的效果图；

图 15 为用激光束对印刷板加工路径孔的剖面图；

图 16 为表示“方式 A”和“方式 B”中相对于各振荡频率的脉冲数与加工时间的关系曲线图。

图中标号说明，10-激光束；12-一个脉冲的照射孔；14-激光照射预定位置；16-N 个脉冲的激光照射孔；18-n1 个脉冲的激光照射孔；20-(n1+n2)个脉冲的激光照射孔。

下面，参照附图详细说明本发明激光加工方法的实施形态。

实施形态 1

在该实施形态 1 中，首先说明使用上述激光加工方法的“方式 A”或“方式 B”在种种条件下加工孔时与加工时间及加工质量有关的具体数据，然后再说明本实施形态 1 的激光加工方法。这里，使用印刷板加工用的二氧化碳激光器通过电扫描方式使激光束扫描，在印刷板表面形成多个路径孔。

图 1 所示为说明“方式 A”加工方法的概念图，图 2 所示为“方式 B”加工方法的概念图。在图 1 及图 2 中，对一个加工孔照射的激光束的总脉冲数为 N 个脉冲。

在图 1 中，将激光束 10 照射多个(这里为 9 个)激光照射预定位置 14，进行孔加工，激光照射预定位置 14 用虚线椭圆表示，受 1 个脉冲激光束 10 照射的脉冲照射孔 12 用实线椭圆表示，在激光照射预定位置 14 受总脉冲数为 N 个脉冲的激光束照射的 N 脉冲激光照射孔 16 用黑色椭圆表示。“方式 A”的激光加工方法如图 1 所示，对一个激光照射预定位置 14 先照射 1 个脉冲的激光束 10 后，连续照射 N 个脉冲(完成一个 N 脉冲激光照射孔 16)。

然后，使激光束的照射位置移动至下一个激光照射预定位置 14，照射 N 个脉冲的激光束(完成两个 N 脉冲激光照射孔 16)。就这样，对所有激光照射预定位置 14 依次照射 N 个脉冲的激光束，故所有照射位置形成 N 脉冲激光照射孔 16，结束激光加工。

图 2 情况也一样，对多个(这里为 9 个)激光照射预定位置 14 照射激光束 10，

进行孔加工。该“方式 B”的激光加工方法如图 2 所示，对一个激光照射预定位置 14 首先照射一个脉冲的激光束 10，形成单脉冲照射孔 12，接着移动激光束的照射位置至下一个激光照射预定位置 14，再照射一个脉冲，形成单脉冲照射孔 12。

由此，对所有激光照射预定位置 14 依次照射 1 个脉冲的激光束之后，再回到最初的单脉冲照射孔 12，对各加工孔照射第 2 脉冲的激光束，经过 N 次这样的重复，所有照射位置(加工孔)形成 N 脉冲激光照射孔 16，并结束激光加工。

下面，计算用“方式 A”及“方式 B”加工孔时的加工时间。这里，设加工孔总数为 M，设每孔加工所需脉冲数为 N，作为电扫描(galvano)能力在区域内可按 P 孔/秒定位，当设定的振荡频率为 B 时，则用“方式 A”加工所需时间(At)表达为下式(1)。

$$At=(1/P+(N-1)/B)\times M \qquad \cdots(1)$$

又，用“方式 B”加工所需时间(Bt)表达为下式(2)。

$$Bt=M\times N/P \qquad \cdots(2)$$

这里，对作为加工对象的绝缘层(参见图 15 中 55，64)的材料为 FR-4、厚度为 0.1mm 的印刷板形成 961 孔(M＝961)的路径孔的情况，计算其加工时间。设为形成一个路径孔所需脉冲总数为 6(N＝6)，经电扫描可按 400 孔/秒(P＝400)定位，取振荡频率为 1000Hz，在这种情况下，代入上述式(1)，所计算的“方式 A”的加工时间(At)为

$At=(1/400+(6-1)/1000)\times 961=7.2$ 秒。

又，代入上述式(2)，“方式 B”的加工时间为

$Bt=961\times 6/400=14.4$ 秒。

其结果可见，“方式 B”比“方式 A”约需 2 倍的加工时间。

下面，说明对印刷板加工孔时的实际加工质量。这里，印刷板绝缘层的材料为 FR-4，基板的厚度为 0.1mm，在外层铜箔厚度为 12μm 上层叠有绝缘层的基板上形成路径孔(φ0.3mm)。图 3 及图 4 所示为用“方式 A”加工的加工孔状态。

图 3 所示为加工孔的孔底状态图，图 4 示出加工孔的孔表面状态图，图 3 及图 4 中(a)为 5 脉冲情况，(b)为 6 脉冲情况，(c)为 8 脉冲情况。图 3 及图 4 中分别只表示一个加工孔的情况，但实际上要加工 961 个孔(电扫描定位为 400 孔/秒)。作为此时的加工条件，每个脉冲的能量为 15mJ，脉冲宽度为 50μs，振荡频率为 1000Hz。

如图 3(a)所示，可观察到在 5 脉冲下孔底部铜箔上存在未除去的玻璃布。但是，增加激光束的脉冲数，如取 6 或 8 个脉冲，可见这种玻璃布被除去。

从图 4 所示孔表面的观察结果看，孔边缘附着有球状玻璃，若脉冲数按 5→6→8 增加，可见表面环氧层受到热影响。此时的加工时间约为 7.2 秒(6 脉冲)，生产率虽高，但加工质量差。

图 5 和图 6 表示“方式 B”加工的加工孔状态。此时印刷板的绝缘层的材料也为 FR-4，基板厚度为 0.1mm，在外层铜箔厚度为 12μm 上层叠有绝缘层的基板上形成有路径孔。

图 5 示出加工孔的孔底状态，图 6 示出加工孔的孔表面状态，图 5 和图 6 中(a)为 6 脉冲情况，(b)为 10 脉冲情况，(c)为 12 脉冲情况。图 5 及图 6 分别只表示一个加工孔，但实际上加工 961 个孔。此时的加工条件为，每个脉冲的能量为 15mJ，脉冲宽度为 50μs。但是由于加工孔为 961 个，故每孔的脉冲重复频率约 0.4Hz。

如图 5(a)及(b)所示，在 6 或 10 脉冲情况下可看到在孔的底部铜箔上有未除去的玻璃或树脂块。然而，如图 5(c)所示，通过增加激光束的脉冲数，如取 12 脉冲，可见能除去它们。

从图 6 所示孔表面的观察结果可判明，附着于孔边缘的玻璃球状物减少，即使增加脉冲数，对于表面环氧层也不会产生热影响。但此时的加工时间为 961×12/400＝约 28.8 秒，加工质量好，但生产率(加工时间约为“方式 A”的 4 倍)下降。

图 7 给出了提高上述“方式 A”的加工质量旨在缩短激光与材料的相互作用时间而降低振荡频率进行加工情况的结果。如图 7 所示，比较了振荡频率取为 1000Hz、500Hz、200Hz、20Hz 各种情况的加工质量(热影响)。为了与该“方式 A”进行比较，图中进一步示出了“方式 B”的数据。

图 7 中示出了从表面孔边缘至热影响层的最大距离作为定量数据。从图 7 明显可见，1000～200Hz 热影响层的大小几无差别，在 20Hz 附近才与“方式 B”的结果基本相。但在以 20Hz 振荡频率加工时的加工时间为(1/400+(6-1)/20)×961=243 秒，比“方式 B”的生产率还低。

图 8 示出了为了提高“方式 B”的生产率而提高脉冲能量情况的结果。这里，激光束的脉冲能量按 15mJ、17.5mJ、20mJ 三级变化，图中纵轴表示脉冲数，横轴表示每个脉冲的能量。图 8 中示出 3 个区域(I，II，III)，区域 I 为由于脉冲

数和能量两者不足而使孔底部残留有树脂的区域，区域 II 为脉冲数和能量恰当而获得良好加工质量的区域，区域 III 为脉冲数和能量都过头而使外层铜箔受损的区域(图 9 示出区域 III 中铜箔受损的外观)。

如上述图 8 及图 9 所示可知，提高每个脉冲的能量能减少为除去铜箔上树脂所需的脉冲数，但容易伤及铜箔。此时判定为良好的条件是 17.5mJ 的 10 脉冲，但此时的加工时间为 961×10/400=24 秒，与 16mJ 情况相比，生产率是提高了一些。然而即便如此，与“方式 A”相比也约为 3.3 倍。

如上所述，对于采用图 1 至图 9 所说明的“方式 A”或“方式 B”在种种条件下加工孔时与加工时间及加工质量有关的具体数据研究的结果表明:“方式 A”、“方式 B”两者在质量或生产率的某一方面存在不足。

下面，详细说明本实施形态 1 的激光加工方法。图 10 表示实施形态 1 激光加工方法的概念图。图 10 中第一工序与上述“方式 A”相同，按照规定振荡频率照射 n1 脉冲(图中斜线椭圆所示 n1 脉冲激光照射孔 18)。也即，按照振荡频率依次对区域内所有孔各照射 n1 脉冲。

在结束上述照射的时刻移至第二工序，按照规定振荡频率再次从最初的孔开始对区域内所有孔依次各照射 n2 脉冲(图中浅色椭圆所示(n1+n2)脉冲激光照射孔 20)。由此，重复照射直到最后的工序，在最后工序，各照射 nn 脉冲的激光束。此时总脉冲数为 n1+n2+…＋nn＝N。而 n 表示 N(总脉冲数)的分割数。这样一来，在本实施形态 1，将 N 脉冲数分割成 n 份，以“方式 A”的形式照射各工序脉冲数，并重复这样的工序。本说明书将这种激光加工方法称为“方式 C”。

由于该“方式 C”可看作 n 分割后的“方式 A”的集合，故在“方式 C”中把重复照射 n1、n2……nn 的工序分别叫做“方式 An1”、“方式 An2”、……“方式 Ann”。

该实施形态 1 的“方式 C”的加工时间(Ct)可表达为下式(3)。

$$Ct=(n/P+N/B)\times M \qquad (3)$$

此时印刷板绝缘层的材料为 FR-4，对厚度为 0.1mm 的印刷板形成 961 孔(M＝961)的路径孔，为形成路径孔的 1 个孔所需脉冲数为 6(N＝6)，可用电扫描按 400 孔/秒(P＝400)定位。

此时振荡频率为 1000Hz,6 脉冲 3 分割为每份 2 个脉冲进行激光加工时的“方式 C”的加工时间(Ct)，若代入上述式(3)计算，则为

Ct=(3/400+6/1000)×961＝13 秒，

其结果为“方式 A”的约 1.8 倍，“方式 B”的约 0.9 倍。

图 11 及图 12 表示对与图 3 及图 4 相同条件的印刷板（绝缘层材料为 FR-4，厚度为 0.1mm，在外层铜箔厚为 12μm 上层叠有绝缘层的基板)按“方式 C”进行激光加工时的加工孔状态。此时加工条件也与图 3 及图 4 的相同，每个脉冲的能量为 15mJ，脉冲宽度为 50μs。

图 11 及图 12 中的(a)为激光束是 6 脉冲情况，(b)为 8 脉冲情况，(c)为 10 脉冲情况。在本实施形态 1 中“方式 C”的各工序所照射的脉冲由于分别按每次 2 脉冲分割，故 6 脉冲为 3 分割，8 脉冲为 4 分割，10 脉冲为 5 分割。

在本实施形态 1 中，按“方式 C”激光加工的结果如图 11 所示，当观察加工孔的孔底状态时，可见该图(a)的 6 脉冲情况下在孔底部的铜箔上残留有未除去的玻璃布，但在(b)的 8 脉冲或(c)的 10 脉冲情况下能除去。

如图 12 所示，当观察加工孔的孔表面状态时，可见不管多少脉冲数，附着于孔边缘的玻璃粒状物总是比“方式 A”的(参看图 4)少，表面环氧层的热影响层也小。然而，图 13 示出热影响层的大小与图 5 的相同，虽比“方式 B”的差，但比“方式 A”的热影响层要小。这样，“方式 C”的加工质量可谓介于“方式 A”与“方式 B”的之间。

加工时间(Ct)，由于 8 脉冲 4 分割，故 Ct=(4/400+8/1000)×961=17.3 秒，生产率为“方式 A”的 2.4 倍，为“方式 B”的 0.6 倍(“方式 B”为 12 脉冲时)。这样，“方式 C”的加工时间可谓处于“方式 A”与“方式 B”之间。

如上所述，按照本实施形态 1，由于采用“方式 C”进行激光加工，故能获得生产率大致介于“方式 A”与“方式 B”之间而加工质量接近“方式 B”的良好加工结果。已有技术由于用“方式 A”或“方式 B”进行激光加工，故只能照顾到加工质量或生产率的某一方，而用实施形态 1，能使加工质量和生产率两全其美，能进行良好的激光加工。

实施形态 2

下面，参照图 14 说明本发明实施形态 2。首先，如上述实施形态 1 中“方式 B”的采用高能量说明那样，考虑铜箔的受损来确定每个脉冲的能量最大值。这种该考虑的受损取决于铜箔厚度和焊区直径求得的热容量及加工面的铜箔表面状态求得的激光吸收率。

对作为绝缘层的玻璃环氧树脂进行激光加工的情况比之前面所述对使用树脂单体(如环氧树脂)的绝缘层进行加工的情况，需要更高的能量，这样易于损伤铜箔。此时，若使用“方式 A”进行激光加工，由于连续脉冲照射，冷却效果低，故更易于损坏铜箔。

图 14 所示为“方式 C”中改变脉冲宽度或峰值输出所获得的效果。在图 14 中，在 4 分割的“方式 C”的各分割方式的“方式 An1”～“方式 An4”中，通过将“方式 An2”～“方式 An4”的每个脉冲的脉冲宽度、峰值输出变为“方式 An1”的情况(每个脉冲的能量设为一定)，给出了与图 8 相同的 3 区域的结果。

在图 14 中，区域 I 为孔底部残留有树脂的区域，区域 II 为获得良好加工质量的区域。区域 III 为外层铜箔受损的区域，但这里图中未画出。如图 14 所示，通过使“方式 An3”采用短脉冲、高峰值，可见能以小分割数进行高质量加工。但是，脉冲越短、峰值越高，则加工点温升越高，故铜箔会受损，或产生等离子体使除去能力下降，因此有必要根据被加工物的种类或加工质量状况选择适当的值。

如上所述，按照本实施形态 2，用“方式 C”进行激光加工时，由于在分割为多个加工阶段的中间，通过改变每个脉冲的脉冲宽度或峰值输出，可适当控制激光束与被加工物材料间的相互作用时间，故能调节加工质量的稳定性和生产率的高低，能实现良好的激光加工。

如上所述，按照本发明的激光加工方法，能对印刷板进行高质量和高效率的开孔加工。

按照本发明的另一激光加工方法，能适当控制激光束与加工对象材料间的相互作用时间和刻蚀速率，故能使加工质量稳定，同时可提高生产率。

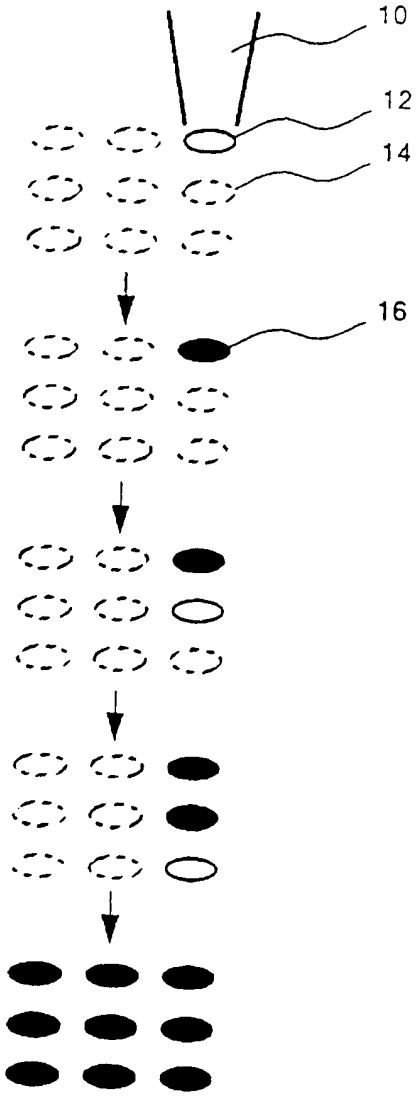


图 1

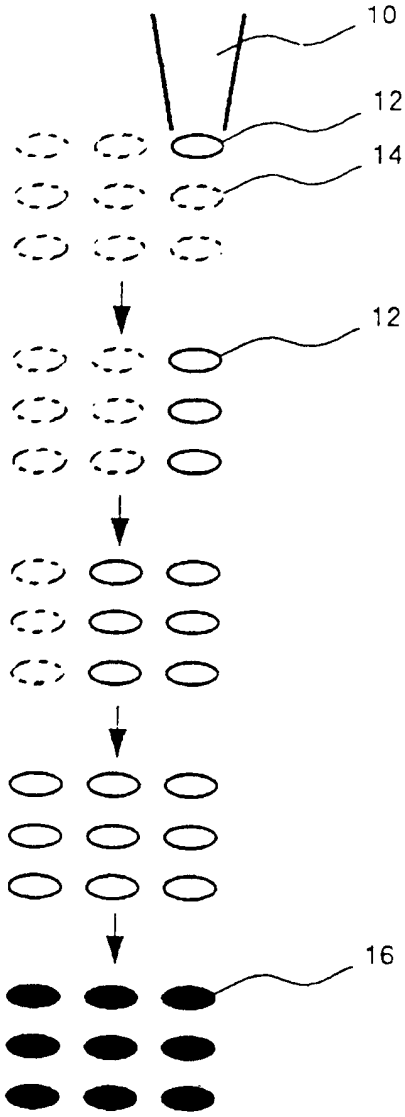
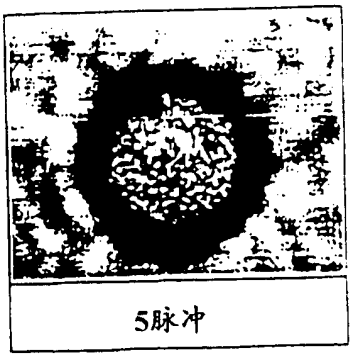
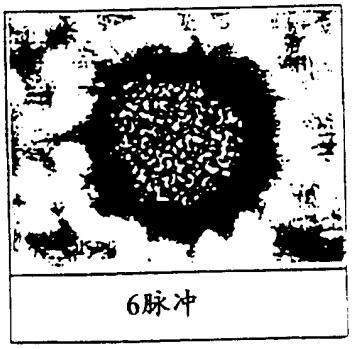


图 2

(a)



(b)



(c)

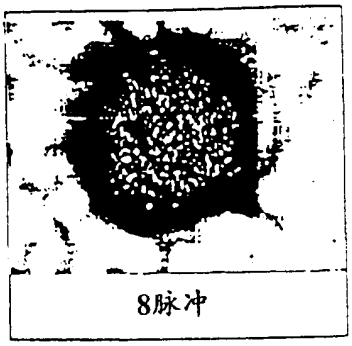
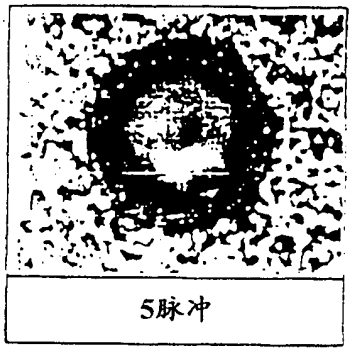
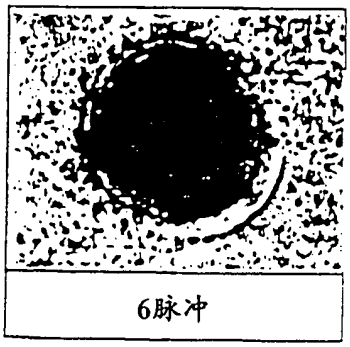


图 3

(a)



(b)



c

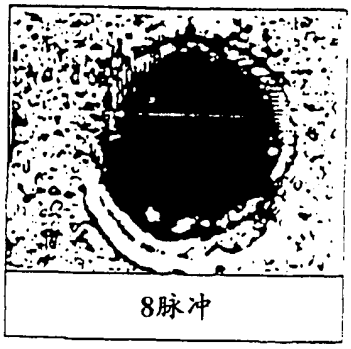
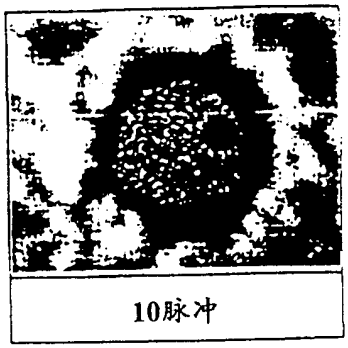


图 4

(a)



(b)



(c)

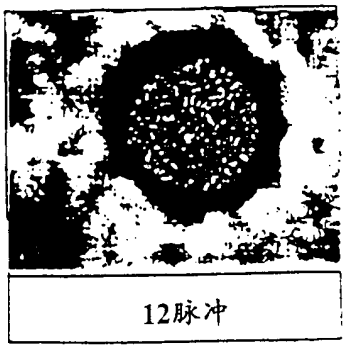
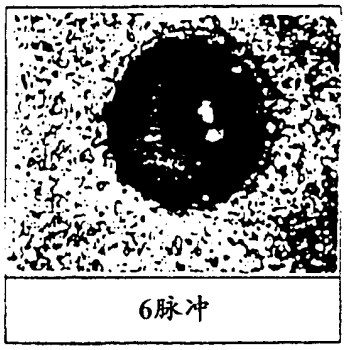
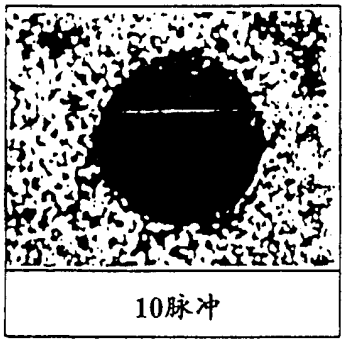


图 5

a



b



c

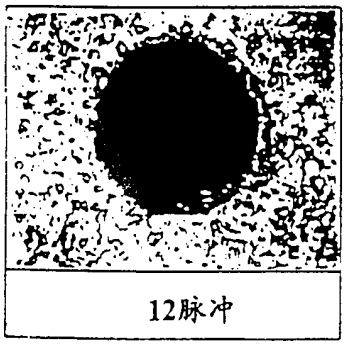


图 6

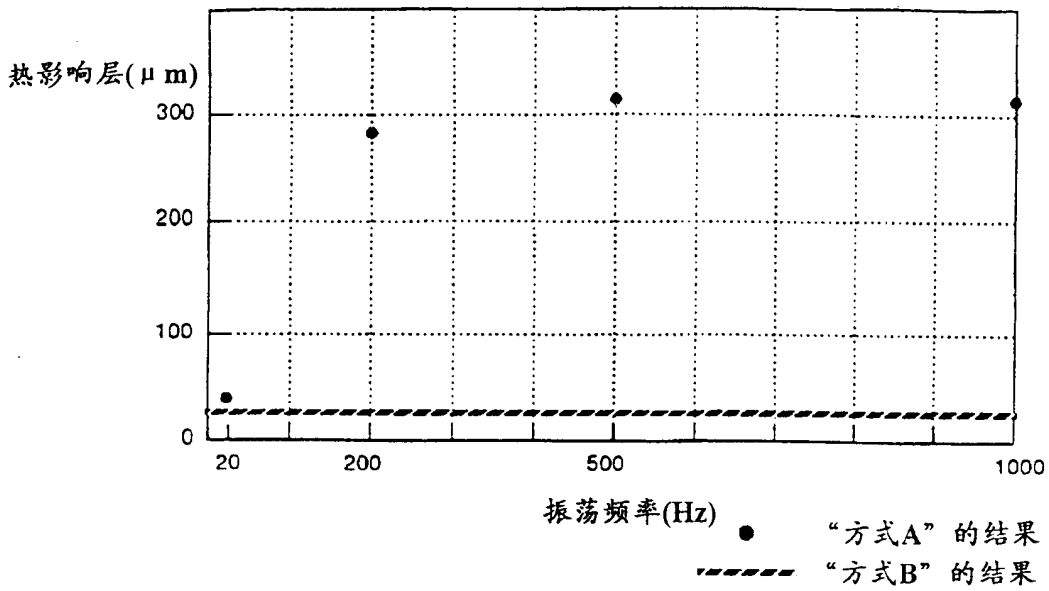


图 7

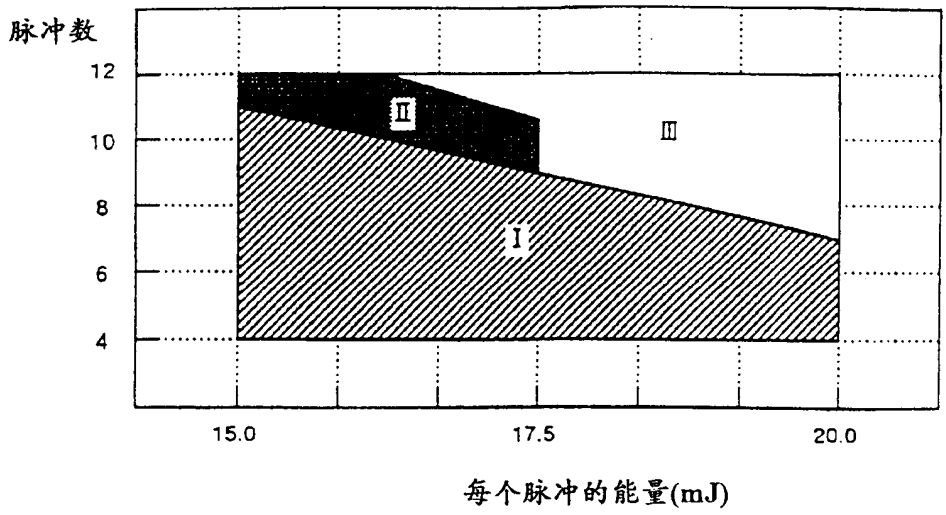


图 8

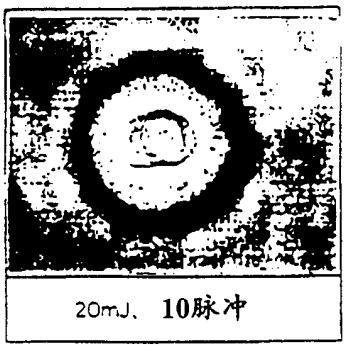


图 9

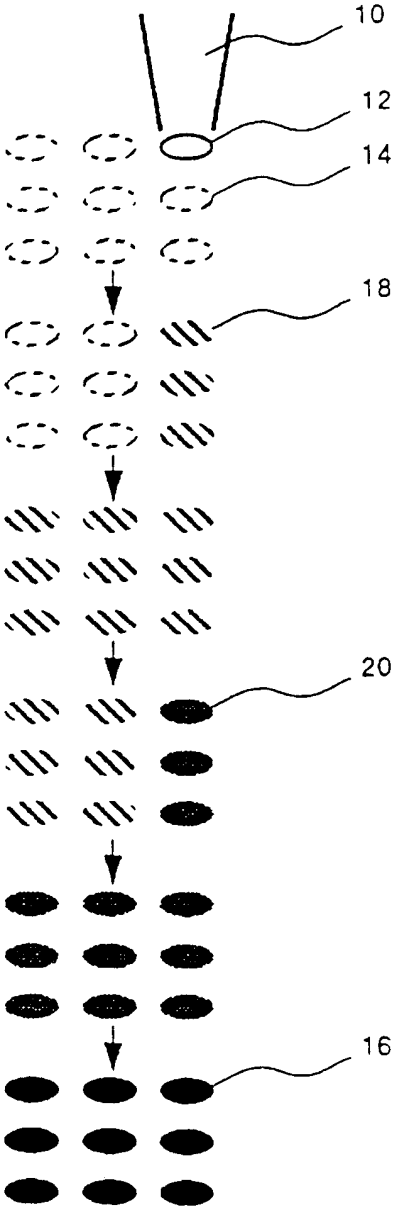
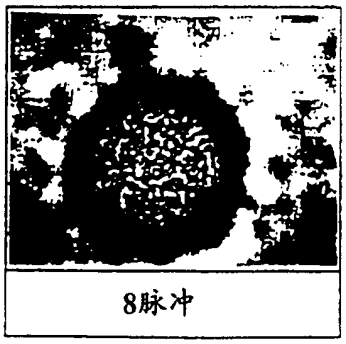


图 10

a



b



c

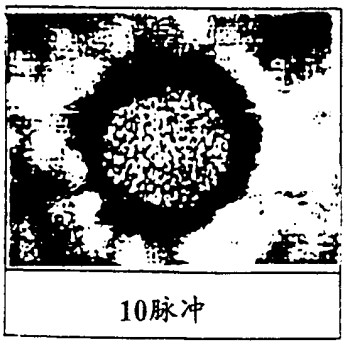
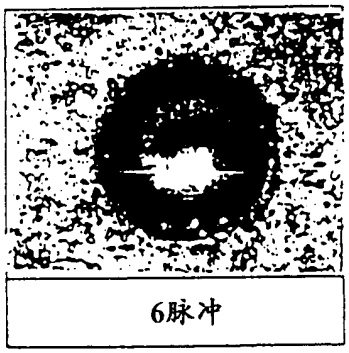
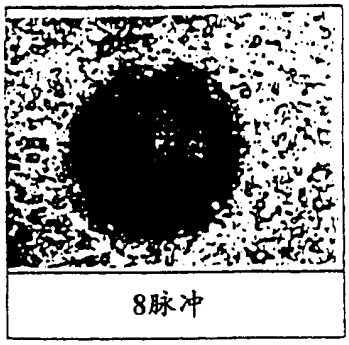


图 11

(a)



(b)



c

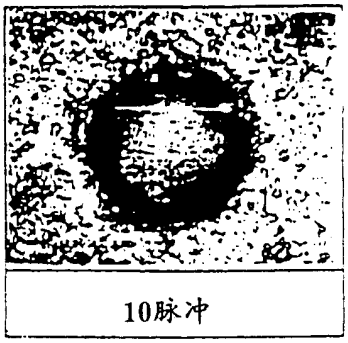


图 12

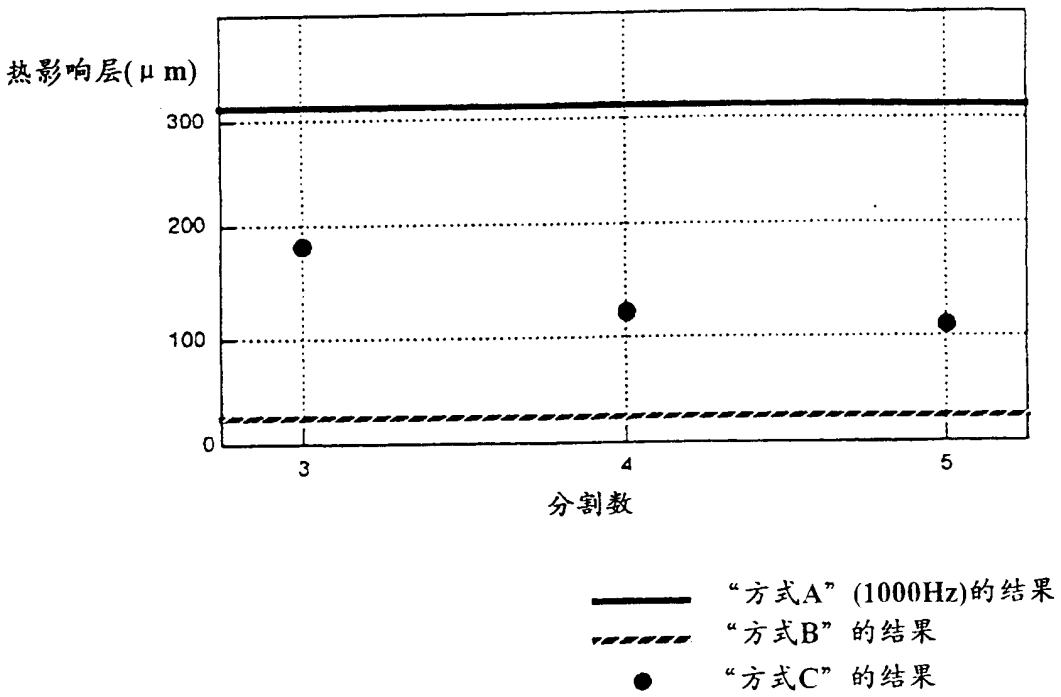


图 13

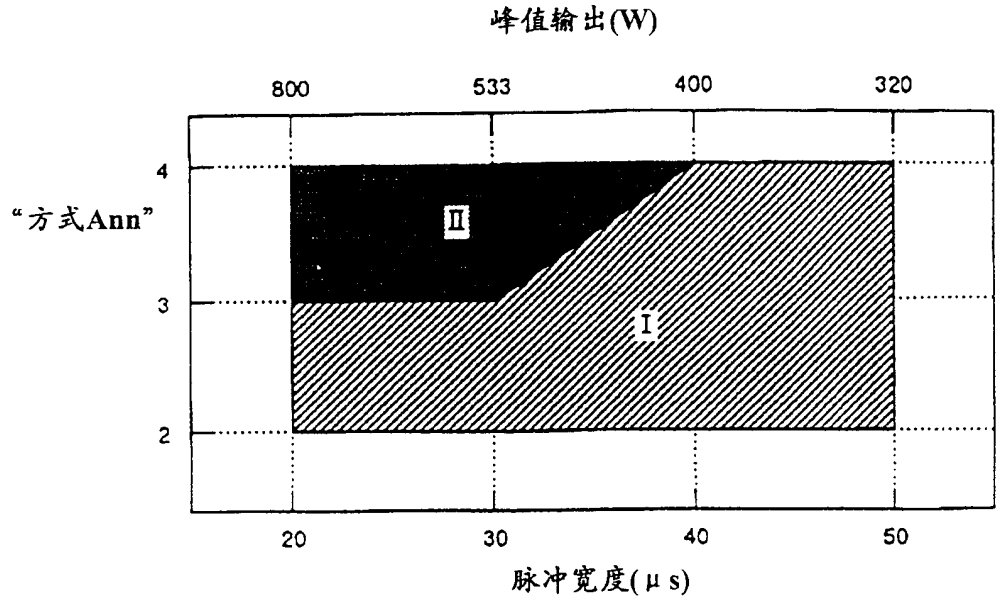


图 14

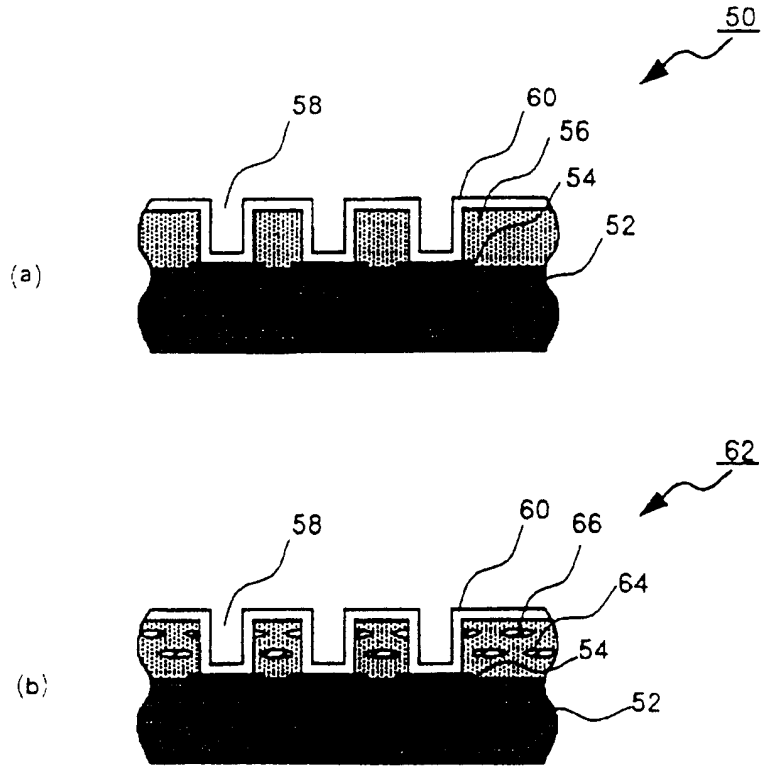


图 15

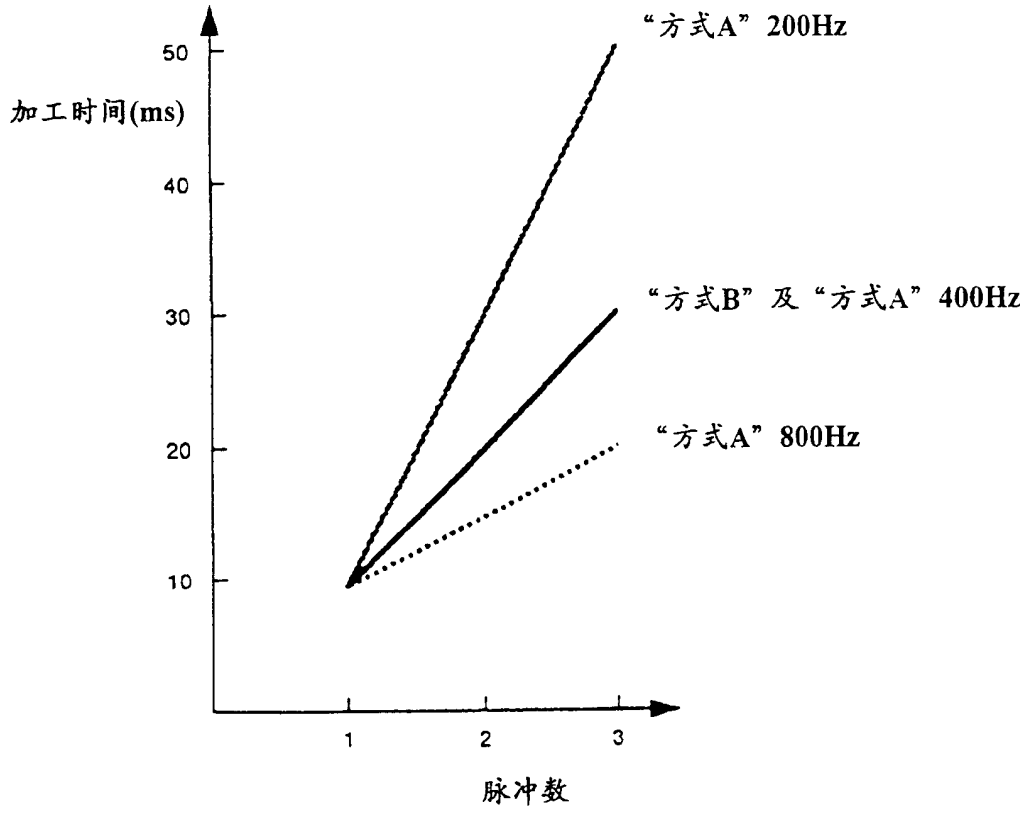

“方式A” 200Hz
50
加工时间(ms)
40
“方式B” 及 “方式A” 400Hz
30
“方式A” 800Hz
20
10
1
2
3
脉冲数

图 16