

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

B28D 5/00 (2006.01)

B23K 26/00 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 03805954.1

[45] 授权公告日 2009 年 12 月 30 日

[11] 授权公告号 CN 100575026C

[22] 申请日 2003.3.12 [21] 申请号 03805954.1
[30] 优先权

[32] 2002.3.12 [33] JP [31] 66934/2002

[86] 国际申请 PCT/JP2003/002961 2003.3.12

[87] 国际公布 WO2003/076151 日 2003.9.18

[85] 进入国家阶段日期 2004.9.13

[73] 专利权人 三星钻石工业股份有限公司

地址 日本大阪府

共同专利权人 长崎县

[72] 发明人 森田英毅 大津泰秀 枝达雄

[56] 参考文献

JP3-13040A 1991.1.22

CN87106576A 1988.5.18

JP6-318675A 1994.11.15

JP3-110095A 1991.5.10

US5871134A 1999.2.16

审查员 刘畅

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 刘宗杰 叶恺东

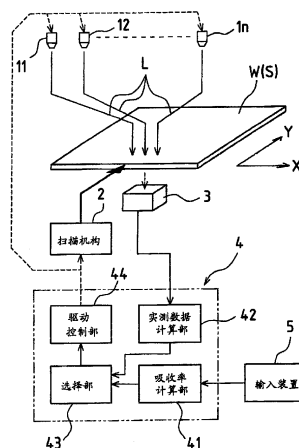
权利要求书 2 页 说明书 11 页 附图 5 页

[54] 发明名称

脆性材料的加工方法及加工装置

[57] 摘要

预先设定成为加工对象的脆性材料 W 的光(例如激光) L 的吸收率,使用该吸收率的设定值和与加工对象的脆性材料 W 的材质相同的板状样品 S 的厚度,计算当对样品 S 照射和脆性材料相同波长的光 L 时样品 S 的吸收率,根据该吸收率的计算值和实际对样品 S 照射光 L 得到的吸收率的实测数据,选择适合于作为加工对象的脆性材料的吸收率的光波长,并使用该选出的波长的光进行脆性材料 W 的加工。



1. 一种脆性材料的加工方法，通过对脆性材料照射来自作为加热源的光源的光的同时，使该照射位置沿规定的线相对移动来加工上述脆性材料，其特征在于，

预先设定射向成为加工对象的厚度为 D 的脆性材料的照射光的透光率，使用该透光率的设定值 B ，用以下关系式，计算与加工对象的脆性材料的材质相同的板状且厚度为 d 的样品的吸收率：

$$A = 100 - (B)^{d/D} \cdot (10)^{(2-2d/D)},$$

根据该吸收率的计算值 A 和实际对样品按顺序照射多个波长的光得到的从透射光的测定数据分别得到的吸收率的实测数据，选择适合于加工对象的脆性材料的吸收率的光波长。

2. 权利要求 1 记载的脆性材料的加工方法，其特征在于，

通过以使照射光的扫描方向接近左右照射表面的一个面的形式使照射角度倾斜，将上述选择的波长的光倾斜照射在上述脆性材料的表面，而在倾斜的面上加工上述脆性材料。

3. 权利要求 1 或 2 记载的脆性材料的加工方法，其特征在于，在上述脆性材料的光照射位置的背面侧形成反射层。

4. 权利要求 1 或 2 记载的脆性材料的加工方法，其特征在于，

当将上述脆性材料放置在工作台上进行加工时，在该工作台的材料放置面形成反射层。

5. 一种脆性材料的加工装置，通过对脆性材料照射来自作为加热源的光源的光的同时，使该照射位置沿规定的线相对移动来加工上述脆性材料，其特征在于，具有：

多个光源，将波长互不相同的光进行振荡；

扫描单元，使这些光源与上述脆性材料相对移动；

吸收率计算单元，使用对成为加工对象的厚度为 D 的上述脆性材料预先设定的透光率的设定值 B ，用以下关系式，计算与上述脆性材料为相同的材料且厚度为 d 的样品的吸收率：

$$A = 100 - (B)^{d/D} \cdot (10)^{(2-2d/D)} ;$$

光强度测定单元，用来测定对上述样品照射来自各光源的光时的透射光强度；

实测数据计算单元，根据上述光强度测定单元测定的各波长的透射光强度的测量值，求出上述样品的吸收率的实测数据；以及

选择单元，根据这些吸收率的实测数据和上述吸收率的计算结果A，选择适合于加工对象的脆性材料的吸收率的光波长，

从多个光源中选出发射与该选择的波长相应的光的光源，来施行脆性材料的加工。

脆性材料的加工方法及加工装置

技术领域

本发明涉及玻璃、陶瓷或半导体晶片等脆性材料的加工方法及加工装置。

背景技术

我们知道,可以对作为加工对象的脆性材料的表面照射来自激光光源的激光,并利用这时产生的因加热冷却变化引起的热应变对脆性材料进行加工。

例如,在特公平 3-13040 号公报中公开了一种加工方法,利用激光照射产生的热应力诱导在脆性材料的加工起始点形成的龟裂沿加工线延伸,由此割断脆性材料。此外,在特表平 8-509947 号(专利第 3027768 号)公报中公开了一种加工方法,利用激光照射脆性材料产生的热应力从材料表面到规定的深度形成龟裂,并利用该龟裂切断脆性材料。

作为这种加工使用的典型的激光光源,可以列举振荡波长为 $2.9\mu\text{m}$ 的 HF 激光器、振荡波长为 $5.5\mu\text{m}$ 的 CO 激光器、振荡波长在 $10\mu\text{m}$ 附近的 CO_2 激光器等气体激光器。此外,作为固体激光器,市面上有振荡各种波长的红宝石激光器和半导体激光器等。

在能作为商品买到的激光光源中,波长在 $1\sim 3\mu\text{m}$ 附近的激光光用于硅等半导体晶片的加工,波长在 $5\sim 10.6\mu\text{m}$ 附近的激光用于玻璃等脆性材料的加工。此外,使用波长在 $1\sim 10.6\mu\text{m}$ 附近的激光,可以对各种陶瓷材料进行加工。再有,使用激光的加工也可以应用于金属加工。

但是,若按照特公平 3-13040 号公报或特表平 8-509947 号(专利第 3027768 号)公报公开的加工方法,多数情况是对使用的激光光源的波长选择没有仔细考虑,照射的激光的波长对于作为切断对象的材料来说,不是其加热能量在其中被充分吸收的最佳吸收波长。因此,材料内部的温度上升仅取决于从加热部分的热传导,上升到必要的温度需要很长的时间,所以,激光照射时间长,不能提

高加工速度。此外，照射时间长还存在其他的问题，若在材料内部到达加工（形成龟裂）所必要的温度之前，照射部分表面附近的温度接近熔融温度，或超过熔融温度而使材料表面附近熔化，则很难得到高精度的划线。再有，特表平 8-509947 号（专利第 3027768 号）公报公开的加工方法还有这样的问题，即，因材料内部充分加热需要很长的时间，故材料内部的深部不能形成龟裂。

这里，提出几种考虑了激光波长的加工方法。例如，在美国专利 5,138,131 号公报中公开了一种加工方法，为了使加工对象的玻璃充分吸收激光，测定加工对象的玻璃的激光透光率，选择该透光率接近于 0 的波长区（4 μm 以上），向玻璃照射该波长区的激光。

但是，在该方法中，因加工材料对激光波长的吸收率太大，大部分照射的激光在材料的表面附近被吸收，照射激光的直接加热只能达到材料表面以下数 μm 的深度。因此，只是材料表面附近被加热，材料内部只靠表面附近吸收的光能转化成热之后再通过热传导来产生热。结果，从表面附近加热的时刻到内部被充分加热会产生相当于热传导时间的延迟。这意味着因热应变而形成的龟裂的产生在内部被延迟了。

此外，在为了对材料表面附近集中加热而使激光激光照射能量集中的表面附近，因为上述时间延迟而被过度加热。因此，最坏的情况是一部分被加热到接近熔融温度，对加工对象材料切断后的品质也有影响。进而，为了弥补因加热时间延迟而引起的切断速度的下降，有必要使用大功率的激光光源对材料进行照射，使大量的热能迅速转移到材料内部。

发明内容

鉴于这样的实际情况，本发明的目的在于提供加工速度快的脆性材料的加工方法及加工装置。

本发明的加工方法是通过对脆性材料照射来自作为加热源的光源的光同时使该照射位置沿规定的线移动来加工脆性材料，其特征在于：预先设定对成为加工对象的脆性材料的照射光的吸收率，使用该吸收率的设定值和与加工对象的脆性材料的材质相同的板状样品的厚度，计算当对样品照射和脆性材料相同波长的光时样品的吸

收率，根据该吸收率的计算值和实际对样品照射光得到的吸收率的实测数据，选择适合于作为加工对象的脆性材料的吸收率的光波长。

在本发明的加工方法中，也可以依次对样品照射多种波长互不相同的光，根据利用该光照射得到的各波长的透射光强度的测定值算出样品吸收率的实测数据，并使用这些实测数据进行光波长的选择。

在本发明的加工方法中，也可以在进行加工的脆性材料的光照射位置的背面侧形成反射层。此外，当将脆性材料放置在工作台上进行加工时，也可以在该工作台的材料放置面形成反射层。

下面，详细说明本发明的加工方法实施的运算处理（激光波长选择运算）的详细情况。

再有，在实际的脆性材料的情况下，在作为入射面侧的材料表面有反射，或在光透过时作为从材料内部透过射出侧面的透过面的材料背面有反射。但是，为讨论简单起见，忽略象这样的材料入射部分或反射部分的反射。

此外，当脆性材料作为显示用的被切断的面板材料使用时，在入射面的背面侧进行表面加工，用来形成画面显示用或显示控制用的各种驱动、控制电路。即使在这样的情况下，为讨论简单起见，也假定不受表面加工部分的影响，光入射并透过没有进行表面加工的部分。

首先，当向物体照射真空中的波长为 λ_0 、强度为 I_0 的光时，深度 z 处的光强度 I 可由 $I = I_0 \cdot \exp(-\alpha \cdot z)$ 表示。这里， α 是称之为吸收能的物理量，由 $\alpha = (4\pi/\lambda_0)k = (4\pi/\lambda_0)n\kappa$ 表示。这里， n 是该物体的折射率， k 、 κ 是衰减系数。

如图2所示，当对材质和加工对象的脆性材料相同、厚度是它的几分之一厚度 d 的板状样品 S 照射波长已知的激光（强度 I_0 ）时，若样品 S 中激光 $A\%$ 被吸收，则下面的关系成立。

$$\frac{I_0 - I}{I_0} = \frac{A}{100} \cdots (1), \quad I = I_0 \cdot \exp(-\alpha \cdot d)$$

$$\frac{I}{I_0} = \frac{100 - A}{100} = \exp(-\alpha \cdot d) \cdots (2)$$

$$\left(\frac{100 - A}{100} \right)^{1/d} = \exp(-\alpha) \cdots (3)$$

此外,如图3所示,若对厚度D的脆性材料W照射和样品S相同波长的光时的射出光强度I'的透光率是B%,则下面的关系成立。

$$I'/I = \exp(-\alpha \cdot D) = B/100$$

利用(3)式得到

$$\exp(-\alpha \cdot D) = \left((100 - A) / 100 \right)^{D/d} = B / 100$$

$$(100 - A) / 100 = (B / 100)^{d/D} \cdots (4)$$

$$\begin{aligned} 100 - A &= 100 \cdot (B / 100)^{d/D} \\ &= (10)^2 \cdot (B)^{d/D} \cdot (100)^{-d/D} \\ &= (B)^{d/D} \cdot (10)^2 \cdot (10^2)^{-d/D} \\ &= (B)^{d/D} \cdot (10)^{(2-2d/D)} \end{aligned}$$

$$A = 100 - (B)^{d/D} \cdot (10)^{(2-2d/D)} \cdots (5)$$

而且,使用以上关系式和厚度d的板状样品S的透射光强度的实测数据,可以对加工对象的脆性材料选择最佳波长的激光。该方法将在下面详述。

首先,确定可以对作为加工对象的厚度为D的脆性材料照射透光率为百分之几的激光,再进行加工。

现在,若设透光率为B%,则根据该透光率B%和上述式(5),可计算当对材质和加工对象的脆性材料相同、厚度d的样品照射和加工对象相同的激光时,吸收率是多少。设该计算的结果是A%。

其次,对厚度d的样品S实际照射激光,研究在什么样的波长区能得到和上述计算求得的吸收率A%相近的吸收率的值(实测数据)。

具体地说，一边改变波长，一边对样品 S 照射激光，或者，照射多种波长不同的激光。接着，使用由激光照射得到的各波长的透射光强度的实测数据，求出样品 S 的实际吸收率（使用上述式（1）），将这些实际吸收率（实测数据）和上述计算求得的吸收率 A% 比较，找到与吸收率 A% 对应的值的激光波长。

通过以上处理，可以选定接近于加工对象的脆性材料的吸收特性最佳的波长的激光波长。

通过选择这样的激光波长，可以使加工速度比过去更高。其理由如下。

首先，当激光波长选择不合适时，有时会出现加工对象的材料内的吸收率为 0%，几乎不被吸收而全部透过。相反，当材料内的吸收率为接近 100% 时，如图 4 所示，照射到脆性材料 W 上的激光 L 在脆性材料 W 的表面附近被吸收。因此，脆性材料 W 的表面部分被瞬时加热，而材料内部则要利用热传导使其内部温度上升，所以，材料内部的温度上升滞后，滞后的时间相当于热传导所要的时间。

对此，若象本发明的加工方法那样，选择波长接近于加工对象的脆性材料的吸收特性最佳的波长的激光，则如图 5 所示，通过对脆性材料 W 照射激光 L，使脆性材料 W 的表面附近和材料内部的区域变成吸收区，可以在很大的体积内同时加热。因此，材料内部的加热，其时间的延迟只相当于光传播速度的延迟时间，材料内部深部的加热几乎和脆性材料 W 的表面附近的加热同时进行，可以在短时间内得到必要的温度上升。结果，可以提高加工速度。此外，因从脆性材料的表面附近直到内部深部都可以产生热应变，故直到脆性材料 W 的内部深部都可以形成龟裂。

进而，如图 6 所示，由加热点附近的温度上升产生的热应力（实线）的变化比激光波长选择不合适时（以往的加工方法：虚线）更陡，热应力集中在材料中的很窄的区域，结果，热应力的强度也增强了。

这里，在本发明中，通过考虑实现一种使照射部的材料表面和内部的温度梯度小的加热方法，可以在板的厚度方向产生较均匀的加热带。例如，通过预先以规定的温度对加工材料进行预热，或使用

板的厚度方向的材料的光吸收率小的光源，可以形成在板的厚度方向温度梯度小的状态。因此，当将各种材料作为切断加工对象时，可使用吸收率小的波长的光进行切断加工的材料适合于大多数对象。有时，即使一部分照射能量透过材料，切断性能本身也不会有问题。在材料的底面或工作台面上形成反射层再利用底面或桌面反射入射光的方法等是有效的措施。通过采用这样的方法，可以在板的厚度方向产生较均匀的加热带。

在本发明中，通过改变照射光的波长（即改变加工材料内的吸收率）可以控制加工时得到的裂缝的深度。进而，通过以使照射光的扫描方向接近左右照射表面的一个面的形式使照射角度倾斜，可以在倾斜面切断加工材料。该切断面在切断后可以得到一个平滑的面，不需要象通常的切断面那样进行倒角加工。

在本发明中，通过在加工材料的规定的照射位置的背面侧或工作台的材料放置面形成适当的反射层，使照射能充分到达加工材料的深部，可以使本发明有效而灵活地应用于整体切断（full-body-cut）加工，即可以以裂缝从表面直到背面侧扩展为浸透程度的形式来进行加工。

此外，本发明具有激光的照射热在照射部的下方比热传导更早被吸收的特征。结果，当面向成为加工对象的脆性材料的表面以某一规定的照射角度照射激光束时，从表面开始以规定的角度来倾斜的方式在内部形成裂缝，所以具有加工自由度增加的优点。

本发明的加工装置是适合实施具有以上特征的脆性材料的加工方法的装置，其特征在于，具有：振荡波长互不相同的光的多个光源；使这些光源和脆性材料相对移动的扫描单元；使用预先设定的吸收率的设定值和样品的厚度数据，计算对样品照射波长与脆性材料相同的光时样品的吸收率的吸收率计算单元；用来测定对样品照射来自各光源的光时的透射光强度的光强度测定单元；根据光强度测定单元测定的各波长的透射光强度的测量值求出样品的吸收率的实测数据的实测数据计算单元；以及根据这些吸收率的实测数据和上述吸收率的计算结果选择适合于加工对象的脆性材料的吸收率的光波长的选择单元，从多个光源中选出发射与该选择的波长相应的

光的光源，来执行脆性材料的加工。

在本发明中，在加工之前的阶段，使用光强度测定单元预先测定加工材料表面附近的光强度 I_0 。然后，测定样品和加工材料背面侧的透射光的光强度，通过将其和 I_0 比较，算出各材料内部的吸收率。

本发明可以适用于通过来自光源的光（激光等）的照射使脆性材料产生深龟裂的切断加工，也可以适用于只通过光照射就能使脆性材料从加工线（划线）的左右完全分离的切断加工。

此外，在本发明中，作为加热源的光源，只要是不在材料表面被全部吸收、进入材料内部并在内部变换成热的波长的光就可以，没有特别的限制，除了激光之外，还可以举出可见光、紫外光等具有各种波长的光，或者将多个波长不同的激光组合起来的光源，通过使用这些光源，并使用使照射部的材料表面和内部的温度梯度小的加热方法来加工，可以提高速度和精度，可以得到能倾斜切断的特点。作为激光之外的光源，可以使用紫外线灯和红外线灯，在激光光源中也可以使用白色激光。

进而，作为本发明使用的光源，除作为单一波长的发光源的激光光源之外，还包括称为红外线灯的加热灯等能发射多个波长的光的热光源，但在此之前的上述说明中，为记述简单起见，将产生单一波长的激光光源作为典型的加热源进行了说明。

当使用加热灯时，多数市面上的商品，可以预先从这些灯的制造商那儿得到有关它们的分光特性的数据，或者自己测定这些数据。

当使用发射包含多个波长成分的光的光源时，在包含在光源发出的光中的波长成分中，注意光谱成分的光强度最强的、或强度以此为准的波长成分，通过测定预先规定的波长宽度的光成分的光强度，将其作为吸收率或透光率的指标。

该方法例如使用加工对象的材料的规定厚度的样品，收集有关对该样品照射各光源的光时的吸收特性或透光率的数据。

附图说明

图 1 是表示本发明的实施方式的结构的示意图。

图 2 是表示对厚度 d 的板状样品照射激光的情形的示意图。

图 3 是表示对厚度 D 的脆性材料照射激光的情形的示意图。

图4是表示利用激光照射只对脆性材料的表面附近加热的状况的示意图。

图5是本发明的作用的说明图,是表示利用激光照射同时对脆性材料的表面附近和内部区域加热的状况的示意图。

图6是本发明的作用的说明图,是表示因加热点附近温度上升产生的热应力大小的变化的图。

具体实施方式

下面,根据附图说明本发明的实施方式。

图1是表示本发明的实施方式的结构示意图。

图1的加工装置具有对互不相同的波长进行振荡的多个激光光源11、12、...1n。这些激光光源11、12、...1n可以使用半导体激光器、气体激光器、固体激光器或受激准分子激光器等各种激光器。

再有,当使用半导体激光器作为激光光源11、12、...1n时,各激光光源(元件)的配置虽然没有什么问题,但是,当使用多个气体激光器、固体激光器或受激准分子激光器时,因激光光源的形状尺寸变大,故在作为加工对象的脆性材料W的上方配置所有的多个激光光源有困难。这时,使用光纤等光学装置将激光L从设置多个激光光源11、12、...1n的地方导向成为加工对象的脆性材料W的表面。

成为加工对象的脆性材料W通过X-Y工作台等扫描机构2可以在X-Y方向移动。从激光光源11、12、...1n中的1个激光光源11(或12、...1n)来的激光L照射脆性材料W。该激光光源11(或12、...1n)的选择、驱动及扫描机构2的驱动控制由后述的运算处理装置4执行。

在多个激光光源11、12、...1n的下方(脆性材料W的下方)配置光强度测定装置3。光强度测定装置3是测定来自各激光光源11、12、...1n的激光L照射后述的样品S时的透射光强度的装置。光强度测定装置3的测定值被采集入运算处理装置4。

运算处理装置4具有吸收率计算部41、实测数据计算部42、选择部43和驱动控制部44等。运算处理装置4与用来输入加工形状数据、加工对象的脆性材料W的厚度、样品S的厚度和激光L的吸收率的设定值等的输入装置5连接。

吸收率计算部41使用通过操作输入装置5的操作输入的加工对

象的脆性材料 W 的厚度、样品 S 的厚度和吸收率的设定值，计算对样品 S 照射和加工对象的脆性材料 W 相同波长的激光 L 时的样品 S 的吸收率。具体地说，将脆性材料 W 的厚度 D、样品 S 的厚度 d 和透光率的设定值 B% 各值代入上述 (5) 式，再计算样品 S 的吸收率 A%。

驱动控制部 44 设定有进行实际加工的加工模式和实验模式，当通过输入装置 5 的操作指定了实验模式时，按顺序驱动各激光源 11、12、...1n。

当来自各激光源 11、12、...1n 的激光 L 照射样品 S 时，实测数据计算部 42 根据由光强度测定装置 3 测定的各波长下的透射光测定值算出样品 S 的吸收率的实测数据。再有，对吸收率的实测数据的计算使用上述式 (1)。

选择部 43 将吸收率计算部 41 计算的样品 S 的吸收率 A% 和由实测数据计算部 42 算出的多个吸收率实测数据进行比较，通过查找与吸收率 A% 一致或接近的实测数据的处理，选择表示接近吸收率 A% 的值的波长的激光源。

而且，驱动控制部 44 在加工模式下只驱动由选择部 43 选择的 1 台激光源 11 (或 12、...1n)，同时，根据加工形状数据驱动控制扫描机构 2。通过该激光源 11 (或 12、...1n) 和扫描机构 2 的驱动控制，激光 L 扫描作为加工对象的脆性材料 W 的表面。

其次，说明脆性材料 W 的加工步骤。

首先，准备一块板状样品 S，其与加工对象的脆性材料 W 的材质相同，厚度是其几分之一。

操作输入装置 5，将加工形状数据、样品 S 的厚度 d 和加工对象的脆性材料 W 的厚度 D 等各种数据输入运算处理装置 4。此外，决定加工时对厚度 D 的脆性材料照射百分之几的透光率的激光，并在运算处理装置 4 中设定该决定值 B%。

其次，在光强度测定装置 3 的上方配置样品 S，对运算处理装置 4 指定实验模式。通过该操作，按顺序驱动激光源 11、12、...1n，对样品 S 照射来自各激光源 11、12、...1n 的激光 L，每照射一次该激光，便将由光强度测定装置 3 测定的样品 S 的透射光强度输入运算处理装置 4。

在输入了所有来自激光源 11、12、...1n 的激光 L 的透射光强度的测定值的时刻，运算处理装置 4 进行上述样品 S 的吸收率 A% 的计算和样品 S 的吸收率的实测数据的计算，再根据这些结果，从多个激光源 11、12、...1n 中选择接近与加工对象的脆性材料 W 的吸收特性最适合的波长的激光源 11（或 12、...1n）。

在以上的处理完成之后，在激光源 11、12、...1n 的下方配置作为加工对象的脆性材料 W，对运算处理装置 4 指定实验模式。由此，运算处理装置 4 在驱动利用上述处理选择的激光源 11（或 12、...1n）的同时，根据加工形状数据驱动控制扫描机构 2，由此，将脆性材料 W 加工成规定的形状。

这里，在本实施方式中，通过来自激光源 11、12、...1n 的激光 L 的照射，可以进行龟裂直达脆性材料 W 内的深部的切断加工，或者也可以进行通过激光照射使在脆性材料 W 的加工起始点形成的龟裂扩展从而使脆性材料完全分离的割断加工。

在以上实施方式中，示出了配置多个激光源的例子，但本发明不限于此，例如，也可以使用振荡波长可变的自由电子激光器来实施本发明。

当使用自由电子激光器时，作为激光波长的选择处理，可以在对样品 S 照射来自自由电子激光器的激光的状态下，使激光的波长连续变化，找出吸收率最佳的波长区。而且，可以在判明最佳波长区之后，选择对波长包含在该波长区内或接近该波长区的激光进行振荡的激光源，进行脆性材料的加工。再有，对于在激光波长的选择处理、即激光吸收率的测定之后使用自由电子激光器设备的情况，也可以将自由电子激光器的振荡波长设定在通过吸收率测定已找到的最佳波长附近的值，再对脆性材料照射激光。

再有，作为加光源的光源，除激光源之外，也可以使用输出可见光、紫外线等各种波长的光的紫外线灯或红外线灯等各种光源。

此外，当从光源向加工材料传送的能量大时，通过以传送时的损失最小的方式选择合适的传送单元作为光纤的代用品，就可以达到目的。做为具体的传送单元，可以举出可进行低损耗传送的中空光纤和中空波导路等（松浦、祐司、宫城、光信：应用物理，第 68 卷，

pp. 41-43 1993 年和同第 62 卷, pp. 44-46 1993 年)。

若按照本发明,与过去只对表面附近加热的情况相比,可以使材料内部的加热温度上升很快,能在短时间内上升到需要的温度,结果,可以提高加工速度,这在工业上是很有益的。

此外,因光照射而产生龟裂从材料表面延伸,通过内部直达对面,所以,可以形成龟裂至材料内部深部,因此,在激光划线之后的分离工序中,容易进行切断作业。

进而,可以快速进行割断加工,只通过光照射工序,就能使脆性材料从划线处左右完全分开,当然这还要取决材料的厚度。这时,作为后续工序,不必采用会产生许多碎片的分离工序,所以,能够在 1 个工序中进行划线和切断作业,而不会产生碎片。

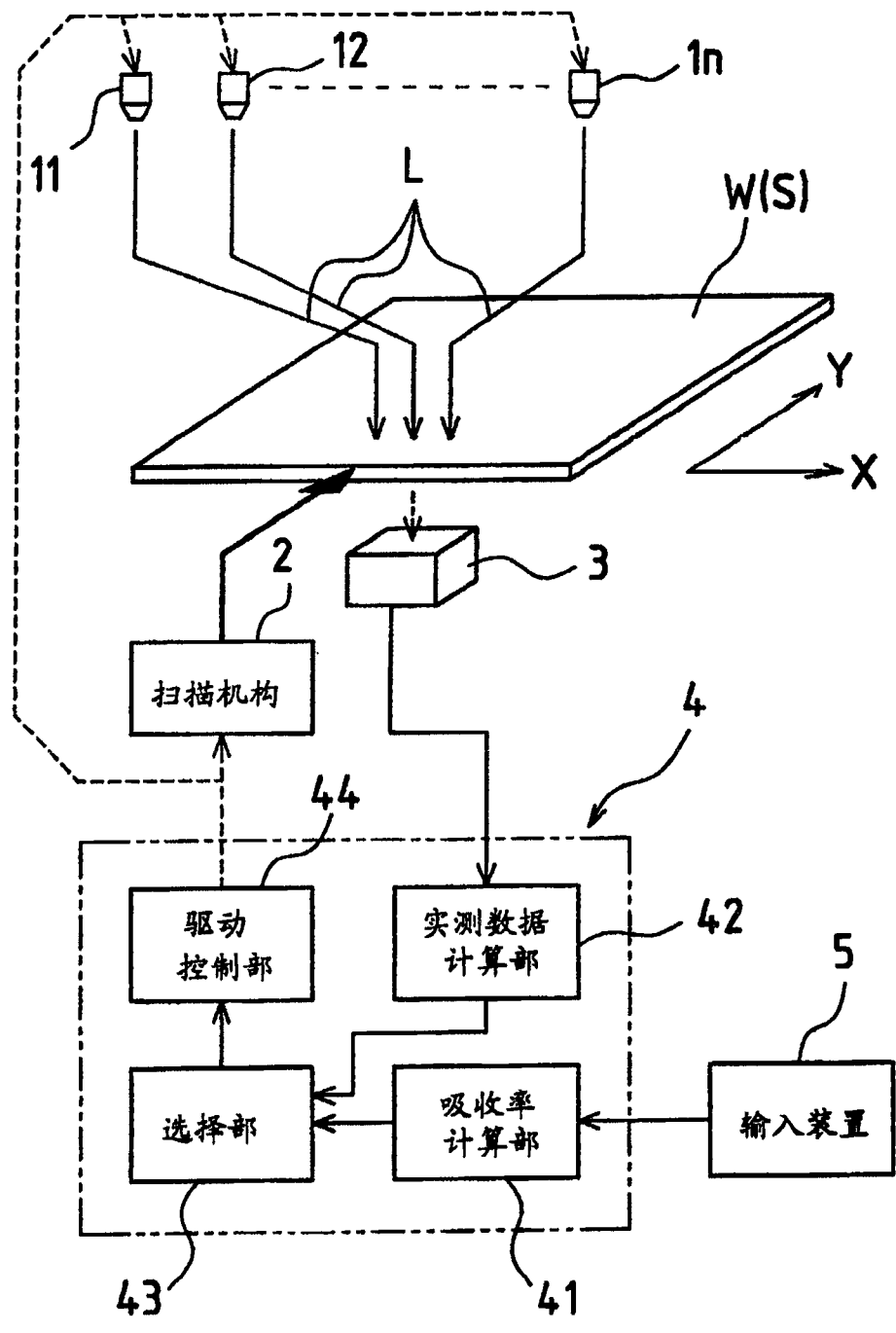
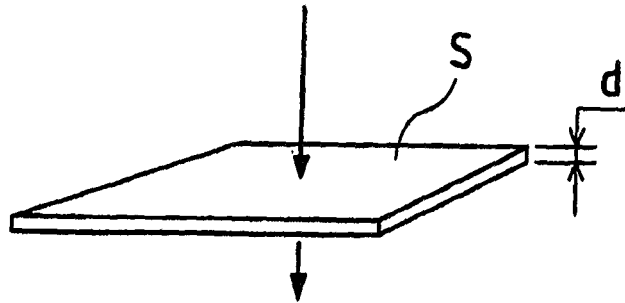
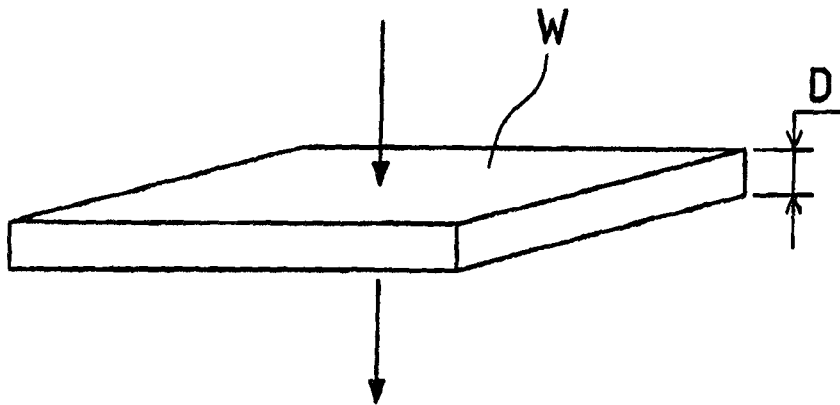


图 1



$$I = I_0 \cdot \exp(-\alpha d) = (100-A)/100 \times I_0.$$

图 2



$$I' = I_0 \cdot \exp(-\alpha D) = B/100 \times I_0$$

图 3

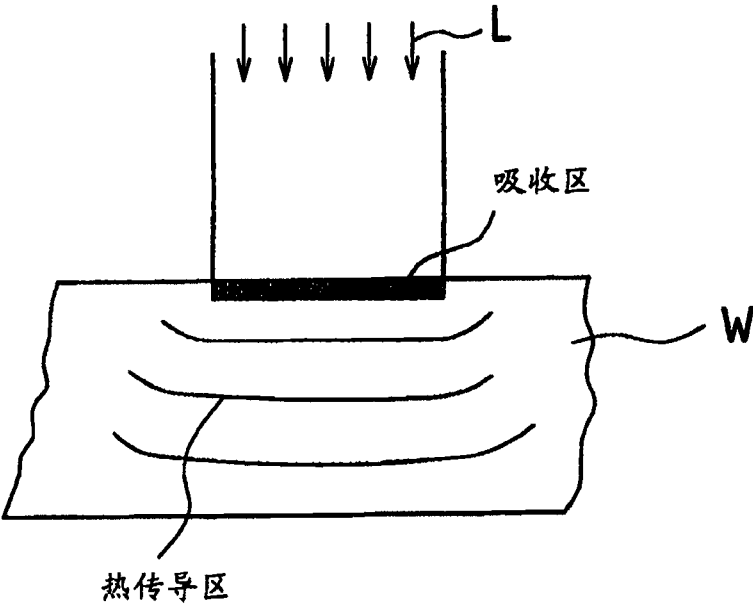


图 4

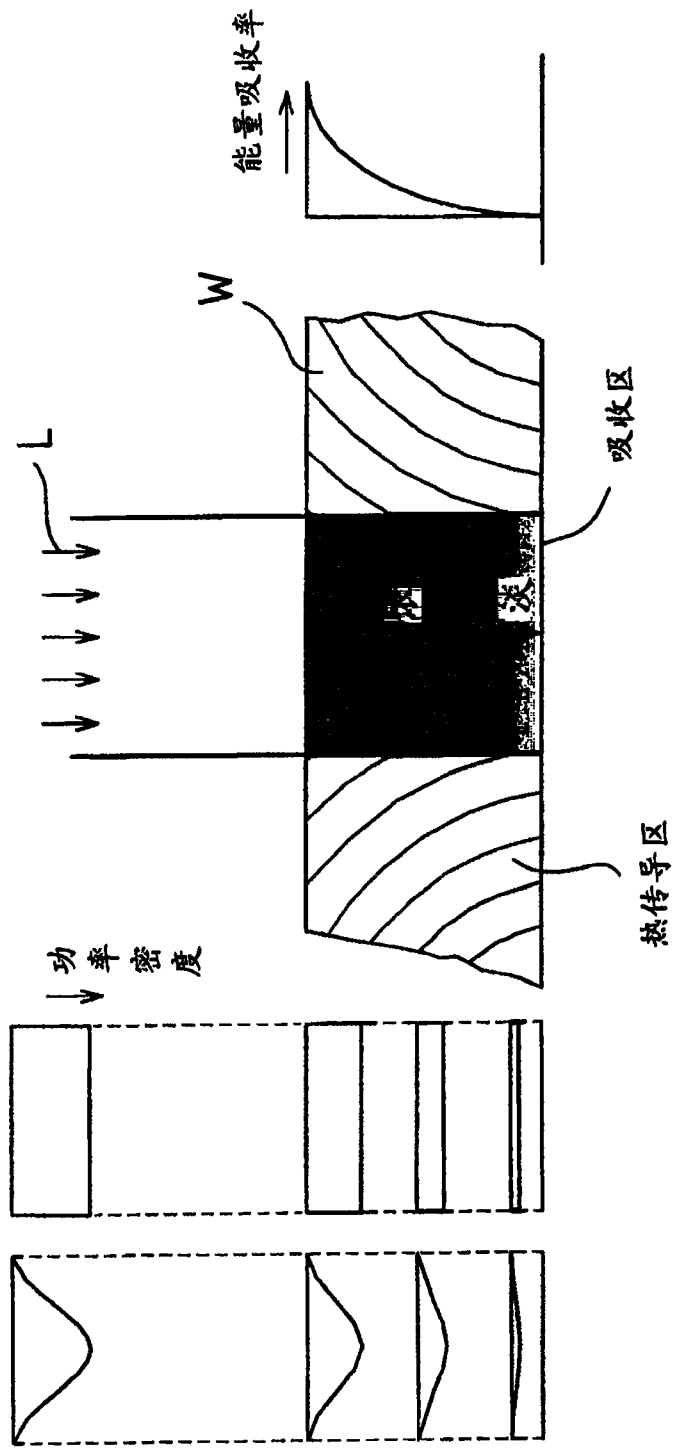


图 5

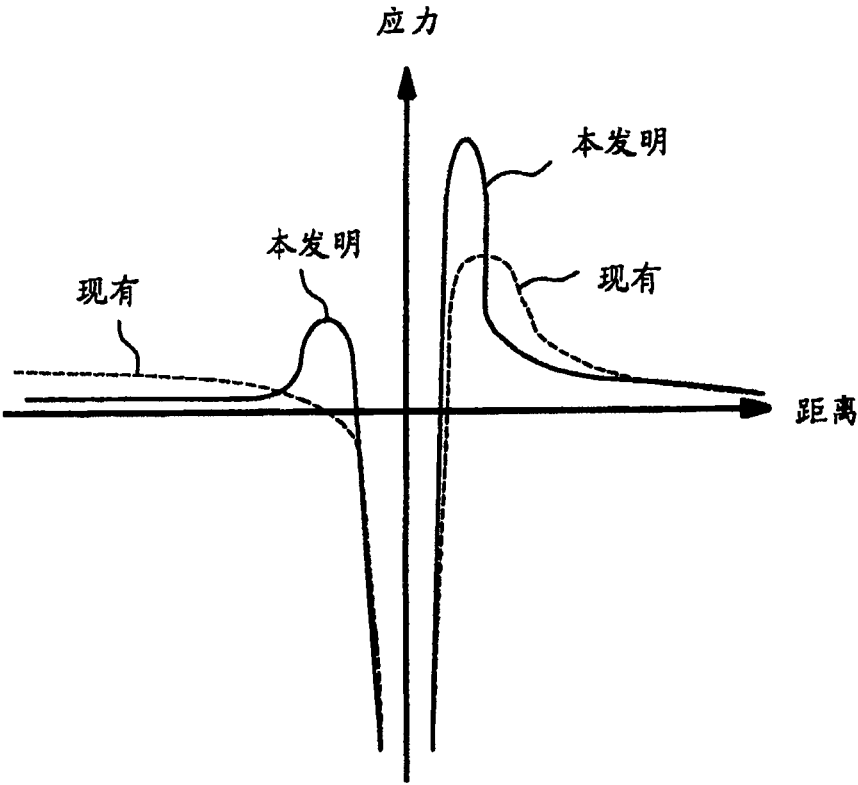


图 6