



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公開本

(11)公開編號：TW 201720768 A

(43)公開日：中華民國 106 (2017) 年 06 月 16 日

(21)申請案號：105131221

(22)申請日：中華民國 105 (2016) 年 09 月 29 日

(51)Int. Cl. : C03B33/09 (2006.01)

B23K26/062 (2014.01)

(30)優先權：2015/10/01 日本

特願 2015-196264

(71)申請人：旭硝子股份有限公司 (日本) ASAHI GLASS COMPANY, LIMITED (JP)
日本

(72)發明人：堀內浩平 HORIUCHI, KOHEI (JP)；小野元司 ONO, MOTOSHI (JP)

(74)代理人：陳長文

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：10 項 圖式數：8 共 38 頁

(54)名稱

使用脈衝雷射於玻璃基板形成孔之方法、及製造具有孔之玻璃基板之方法

METHOD OF FORMING HOLE IN GLASS SUBSTRATE BY USING PULSED LASER, AND
METHOD OF PRODUCING GLASS SUBSTRATE PROVIDED WITH HOLE

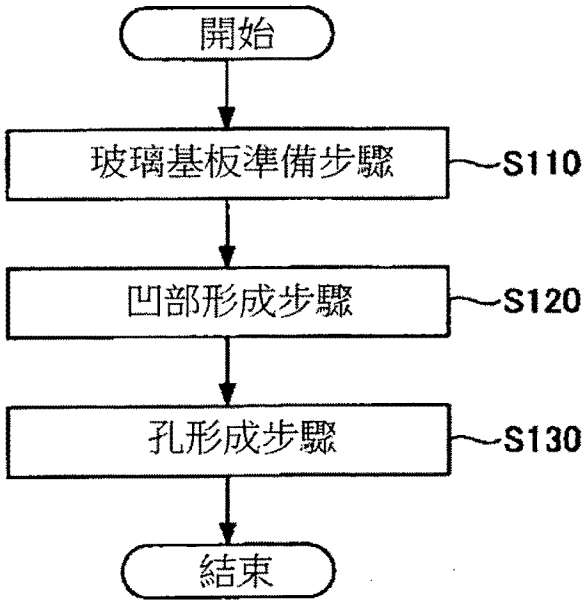
(57)摘要

本發明之課題在於抑制破裂及缺口之產生，於實際可行時間於玻璃基板形成孔。本發明係使用脈衝雷射於玻璃基板形成孔之方法，其具有以下步驟：(1)準備具有互為反向之第 1 及第 2 表面之玻璃基板；(2)藉由於第 1 條件下經由透鏡對上述玻璃基板之上述第 1 表面側照射脈衝雷射，而於上述第 1 表面形成凹部；及(3)於上述脈衝雷射之能量密度成為上述玻璃基板之加工閾值以下之第 2 條件下，對上述凹部照射上述脈衝雷射而形成孔。

Disclosed is a method of forming a hole in a glass substrate by using a pulsed laser, the method including (1)preparing the glass substrate including a first surface and a second surface that face each other; (2)forming a concave portion on the first surface by irradiating, with a first condition, the pulsed laser onto the first surface of the glass substrate through a lens; and (3)forming the hole by irradiating the pulsed laser onto the concave portion with a second condition such that energy density of the pulsed laser is less than or equal to a processing threshold value of the glass substrate.

指定代表圖：

符號簡單說明：
S110~S130 . . . 步驟



【圖2】



申請日: 105. 9. 29

201720768

【發明摘要】

IPC分類: C03B 33/09 (2006.01)
B23K 26/062 (2014.01)

【中文發明名稱】

使用脈衝雷射於玻璃基板形成孔之方法、及製造具有孔之玻璃基板之方法

【英文發明名稱】

METHOD OF FORMING HOLE IN GLASS SUBSTRATE BY USING PULSED LASER, AND METHOD OF PRODUCING GLASS SUBSTRATE PROVIDED WITH HOLE

【中文】

本發明之課題在於抑制破裂及缺口之產生，於實際可行時間於玻璃基板形成孔。

本發明係使用脈衝雷射於玻璃基板形成孔之方法，其具有以下步驟：
(1)準備具有互為反向之第1及第2表面之玻璃基板；(2)藉由於第1條件下經由透鏡對上述玻璃基板之上述第1表面側照射脈衝雷射，而於上述第1表面形成凹部；及(3)於上述脈衝雷射之能量密度成為上述玻璃基板之加工閾值以下之第2條件下，對上述凹部照射上述脈衝雷射而形成孔。

【英文】

Disclosed is a method of forming a hole in a glass substrate by using a pulsed laser, the method including (1)preparing the glass substrate including a first surface and a second surface that face each other; (2)forming a concave portion on the first surface by irradiating, with a first condition, the pulsed laser onto the first surface of the glass substrate through a lens; and (3)forming the hole by irradiating the pulsed laser onto the concave portion with a second condition such that energy density of the

pulsed laser is less than or equal to a processing threshold value of the glass substrate.

【指定代表圖】

圖2

【代表圖之符號簡單說明】

S110～S130 步驟

【發明說明書】

【中文發明名稱】

使用脈衝雷射於玻璃基板形成孔之方法、及製造具有孔之玻璃基板之方法

【英文發明名稱】

METHOD OF FORMING HOLE IN GLASS SUBSTRATE BY USING PULSED LASER, AND METHOD OF PRODUCING GLASS SUBSTRATE PROVIDED WITH HOLE

【技術領域】

本發明係關於一種使用脈衝雷射於玻璃基板形成孔之方法、及製造具有孔之玻璃基板之方法。

【先前技術】

自先前以來，已知藉由將CO₂雷射等雷射照射至玻璃基板，而於玻璃基板形成1個或2個以上之貫通孔之技術。最近，為了形成更微細之貫通孔而研究使用脈衝雷射作為雷射來進行貫通孔加工。

例如於非專利文獻1中，記載有於加工時藉由於玻璃基板之表面塗佈雷射吸收佳之顏料，而降低脈衝雷射之能量密度。

[先前技術文獻]

[非專利文獻]

[非專利文獻1]精密工學會刊 VOL64、NO7、1998、1062～1066頁

【發明內容】

[發明所欲解決之問題]

於使用脈衝雷射之情形時，能夠於玻璃基板形成例如直徑為30 μm以

下程度之微細之孔。

然而，脈衝雷射與如CW(連續波)雷射之雷射光相比峰值功率較高，因此有於孔加工中及/或孔形成後，容易於玻璃基板產生破裂及/或缺口之問題。又，若為了不產生此種破裂及/或缺口而使脈衝雷射之能量密度降低，則產生如下問題，即，直至此次於玻璃基板形成孔為止之加工時間變長，或無法形成孔。

再者，於發明者等人之實驗中，即便於使用非專利文獻1中記載之方法之情形時，亦會產生破裂及/或缺口。

本發明係鑒於此種背景而完成者，本發明之目的在於提供一種使用脈衝雷射，能夠不怎麼於玻璃基板產生破裂及/或缺口而於實際可行時間形成孔之方法。

[解決問題之技術手段]

於本發明中提供一種方法，其係使用脈衝雷射於玻璃基板形成孔者，且具有以下步驟：

(1)準備具有互為反向之第1及第2表面之玻璃基板；

(2)藉由於第1條件下經由透鏡對上述玻璃基板之上述第1表面側照射脈衝雷射，而於上述第1表面形成凹部，

上述凹部具有於上述第1表面之直徑 ϕ 及深度 d ，

上述直徑 ϕ 為由以下之(1)式所表示之上述脈衝雷射之於上述第1表面的點徑 S 以上($\phi \geq S$)，上述深度 d 為上述直徑 ϕ 之0.7倍以上，

$$\text{點徑 } S = (4 \times \lambda \times f \times M^2) / (\pi \times r) \quad (1) \text{式}$$

(此處， λ 為上述脈衝雷射之波長， f 為上述透鏡之焦點距離， M^2 為 M 平方(M-Square)值， r 為入射至上述透鏡之上述脈衝雷射之光束之直徑)；

及

(3)於上述脈衝雷射之能量密度成為上述玻璃基板之加工閾值以下之第2條件下，對上述凹部照射上述脈衝雷射而形成孔。

又，於本發明中提供一種方法，其係製造具有孔之玻璃基板者，且具有以下步驟：

(1)準備具有互為反向之第1及第2表面之玻璃基板；

(2)藉由於第1條件下經由透鏡對上述玻璃基板之上述第1表面側照射脈衝雷射，而於上述第1表面形成凹部，

上述凹部具有於上述第1表面之直徑 ϕ 及深度 d ，

上述直徑 ϕ 為由以下之(1)式所表示之上述脈衝雷射之於上述第1表面的點徑 S 以上($\phi \geq S$)，上述深度 d 為上述直徑 ϕ 之0.7倍以上，

$$\text{點徑 } S = (4 \times \lambda \times f \times M^2) / (\pi \times r) \quad (1) \text{式}$$

(此處， λ 為上述脈衝雷射之波長， f 為上述透鏡之焦點距離， M^2 為 M 平方值， r 為入射至上述透鏡之上述脈衝雷射之光束之直徑)；及

(3)於上述脈衝雷射之能量密度成為上述玻璃基板之加工閾值以下之第2條件下，對上述凹部照射上述脈衝雷射而形成孔。

[發明之效果]

於本發明中，可提供一種使用脈衝雷射，能夠不怎麼於玻璃基板產生破裂及/或缺口而於實際可行時間形成孔之方法。

【圖式簡單說明】

圖1係模式性地表示本發明之一實施形態之貫通孔形成方法之一過程中之玻璃基板之剖面的圖。

圖2係模式性地表示本發明之一實施形態之於玻璃基板形成孔之方法

之流程的圖。

圖3係概略性地表示可用於本發明之一實施形態之貫通孔形成方法之裝置之構成的圖。

圖4係概略性地表示可用於本發明之一實施形態之貫通孔形成方法之裝置之構成的圖。

圖5係模式性地表示本發明之一實施形態之另一孔形成方法之流程的圖。

圖6係概略性地表示可用於本發明之一實施形態之另一孔形成方法之裝置之構成的圖。

圖7係歸總表示例1～例6中於第1照射階段後所形成之凹部之剖面狀態及表面狀態的圖。

圖8係歸總表示例10～例14中於第1照射階段後所形成之凹部之剖面狀態及表面狀態的圖。

【實施方式】

於本案之一實施形態中提供一種方法，其係使用脈衝雷射於玻璃基板形成孔者，且具有以下步驟：

- (1)準備具有互為反向之第1及第2表面之玻璃基板；
- (2)藉由於第1條件下經由透鏡對上述玻璃基板之上述第1表面側照射脈衝雷射，而於上述第1表面形成凹部，

上述凹部具有於上述第1表面之直徑 ϕ 及深度 d ，

上述直徑 ϕ 為由以下之(1)式所表示之上述脈衝雷射之於上述第1表面的點徑 S 以上($\phi \geq S$)，上述深度 d 為上述直徑 ϕ 之0.7倍以上，

$$\text{點徑 } S = (4 \times \lambda \times f \times M^2) / (\pi \times r) \quad (1) \text{式}$$

(此處， λ 為上述脈衝雷射之波長， f 為上述透鏡之焦點距離， M^2 為 M 平方值， r 為入射至上述透鏡之上上述脈衝雷射之光束之直徑)；及

(3)於上述脈衝雷射之能量密度成為上述玻璃基板之加工閾值以下之第2條件下，對上述凹部照射上述脈衝雷射而形成孔。

於本案之一實施形態中，於使用脈衝雷射於玻璃基板形成孔時，實施上述(2)及(3)之2階段之步驟。此處，亦將各步驟稱為「第1照射階段」及「第2照射階段」。

以下，對各個照射階段進行說明。

首先，於第1照射階段中，藉由於第1照射條件下經由透鏡對玻璃基板照射脈衝雷射，而於玻璃基板之第1表面形成凹部。

於圖1中，模式性地表示第1照射階段結束後之玻璃基板之剖面。

如圖1所示，玻璃基板10具有第1表面12及第2表面14。又，於玻璃基板10之第1表面12形成有凹部20。凹部20於第1表面12具有直徑 ϕ ，並且具有深度 d 。

此處，凹部20之直徑 ϕ 具有與由以下之式所表示之點徑 S 相等或其以上之尺寸(條件A)，

$$\text{點徑 } S = (4 \times \lambda \times f \times M^2) / (\pi \times r) \quad (1) \text{式}$$

(此處， λ 係脈衝雷射之波長， f 係透鏡之焦點距離， M^2 為 M 平方值， r 係入射至透鏡之脈衝雷射之光束之直徑)。

又，凹部20之深度 d 為直徑 ϕ 之0.7倍以上(條件B)。換言之，第1照射階段中之第1照射條件係以於玻璃基板10之第1表面12形成具有滿足上述條件A、B之直徑 ϕ 及深度 d 之凹部20的方式進行選定。

再者，於第1照射階段中，雖於玻璃基板10形成凹部20，但需要留意

尚未形成所需之深度之孔之情況。

其次，於第2照射階段中，將脈衝雷射之能量密度抑制至玻璃基板10之加工閾值以下。又，朝向上述凹部20照射此種「低能量密度」之脈衝雷射。

此處，於通常之情形時，即便對玻璃基板10照射將能量密度抑制至玻璃基板10之加工閾值以下之脈衝雷射，亦幾乎不會加工玻璃基板10之表面。

然而，於本發明中，於第2照射階段中，脈衝雷射對具有如上所述之形狀之凹部20進行照射。於該情形時，脈衝雷射藉由於凹部20之內壁之反射，而集中地照射至凹部20之前端22(參照圖1)。因此，即便照射加工閾值以下之脈衝雷射，加工亦會進展，凹部20之前端22能夠於玻璃基板10之厚度方向進展。又，於凹部20之前端22持續進展並到達玻璃基板10之第2表面14時，能夠於玻璃基板10形成貫通孔。

再者，上述機制係發明者等人於當前時點考察者，實際之孔之形成行為亦可利用其他機制進行說明。

如此，於本發明中，經由第1照射階段及第2照射階段於玻璃基板形成孔。於此種方法中，與以超過加工閾值之能量密度對玻璃基板持續照射脈衝雷射而形成孔之方法不同，於第2照射階段中，可使用具有加工閾值以下之能量密度之脈衝雷射。因此，能夠有意義地抑制於孔加工中及/或孔加工後，於玻璃基板產生破裂及/或缺口之可能性。

又，於此種方法中，利用第1照射階段中所獲得之凹部20，而於第2照射階段中繼續進行玻璃基板之加工。因此，能夠避免如於持續照射僅抑制能量密度之脈衝雷射之方法中產生之於有意義之時間未形成所需之深度

之孔的問題。

如此，於本案之一實施形態中，能夠儘量地抑制會於玻璃基板產生之破裂及/或缺口而於實際可行加工時間形成孔。

(關於凹部20)

如上所述，第1照射階段中產生之凹部20具有直徑 ϕ 及深度 d 。

凹部20之直徑 ϕ 例如為 $3\ \mu\text{m}\sim 30\ \mu\text{m}$ 之範圍，較佳為 $11\ \mu\text{m}\sim 21\ \mu\text{m}$ 之範圍。又，凹部20之深度 d 例如為 $2.1\ \mu\text{m}\sim 120\ \mu\text{m}$ 之範圍，較佳為 $13\ \mu\text{m}\sim 42\ \mu\text{m}$ 之範圍。

又，深度 d 與直徑 ϕ 之比 d/ϕ 較佳為0.7以上，更佳為1.0以上，尤佳為1.5以上，最佳為2.0以上。比 d/ϕ 較佳為4.0以下，更佳為3.5以下，尤佳為3.0以下。原因在於：若以比 d/ϕ 超過4之方式形成凹部20，則容易產生破裂及/或缺口。

(關於本發明中使用之脈衝雷射)

於本發明之一實施形態中，所使用之脈衝雷射之波長 λ 可為 $200\ \text{nm}\sim 1200\ \text{nm}$ 之範圍。脈衝雷射之波長 λ 例如亦可為 $355\ \text{nm}$ 。

又，於本發明之一實施形態中，由上述(1)式所表示之點徑 S 可為 $2\ \mu\text{m}\sim 25\ \mu\text{m}$ 之範圍，亦可為 $5\sim 22\ \mu\text{m}$ 之範圍，亦可為 $10\sim 20\ \mu\text{m}$ 之範圍。

(第1實施形態)

其次，參照圖2至圖4，對本發明之第1實施形態之於玻璃基板形成孔之方法更詳細地進行說明。

於圖2中，概略性地表示本發明之第1實施形態之於玻璃基板形成孔之方法(以下稱為「第1孔形成方法」)之流程。

如圖2所示，第1孔形成方法具有以下步驟：

(1)準備具有互為反向之第1及第2表面之玻璃基板(玻璃基板準備步驟)(步驟S110)；

(2)藉由於第1條件下經由透鏡對上述玻璃基板之上表面側照射脈衝雷射，而於上述第1表面形成凹部，上述第1條件係以上述脈衝雷射之能量密度超過上述玻璃基板之加工閾值之方式進行選定(凹部形成步驟)(步驟S120)；及

(3)於上述脈衝雷射之能量密度成為上述玻璃基板之加工閾值以下之第2條件下，對上述凹部照射上述脈衝雷射而形成孔(孔形成步驟)(步驟S130)。

以下，參照圖3及圖4對各步驟進行說明。再者，於圖3及圖4中，概略性地表示實施第1孔形成方法時可使用之裝置之構成。

(步驟S110)

首先，準備被加工用之玻璃基板。

玻璃基板之組成並無特別限定。

玻璃基板之厚度並無特別限定，例如為0.05 mm～0.7 mm之範圍。

(步驟S120)

其次，於第1條件下對玻璃基板之上表面照射脈衝雷射。又，藉此於玻璃基板之上表面形成凹部。再者，該步驟S120相當於上述第1照射階段。因此，於以下之說明中，亦將步驟S120稱為第1照射階段。

於圖3中，概略性地表示可用於步驟S120即第1照射階段之裝置之構成。

如圖3所示，該裝置100具有函數發生器120、雷射振盪器130、及透鏡140。

函數發生器120具有相對於輸入之閘信號 I_m 而輸出特定之矩形波信號OP之作用。

雷射振盪器130具有基於自函數發生器120輸出之矩形波信號OP而出射脈衝雷射光束PL之作用。

自雷射振盪器130出射之脈衝雷射光束PL(亦稱為脈衝雷射光束135)照射至透鏡140。透鏡140具有將脈衝雷射光束145聚光於成為被加工對象之玻璃基板10之第1表面12。

於使用此種裝置100於玻璃基板10形成凹部20時，首先，將玻璃基板10設置於裝置100。玻璃基板10配置於透鏡140之與雷射振盪器130為相反之側。玻璃基板10例如亦可配置於具有XY平台之固持器(未圖示)之上。玻璃基板10係以第1表面12側成為雷射照射側之方式配置。

其次，作為上述第1照射階段，對函數發生器120輸入閘信號 I_m 。函數發生器120相對於輸入之閘信號 I_m 而輸出特定之矩形波信號OP。

例如，於圖3之例中，對函數發生器120輸入閘信號 I_m ，自函數發生器120輸出具有電壓 V_1 之矩形波 $OP_1 \sim OP_3$ 。矩形波 $OP_1 \sim OP_3$ 均具有時間寬度 t_{c1} ，且相鄰之矩形波彼此之間隔為 t_{p1} 。其中，於矩形波信號OP中，矩形波之數量、各矩形波之電壓 V_1 、時間寬度 t_c 、及相鄰之矩形波彼此之間隔 t_p 可調整為特定之值。

其次，自函數發生器120輸出之矩形波信號OP輸入至雷射振盪器130。雷射振盪器130基於所輸入之矩形波信號OP而出射脈衝雷射光束PL。

例如，於圖3之例中，雷射振盪器130基於所輸入之矩形波信號OP而出射具有3條脈衝波 $PL_1 \sim PL_3$ 之脈衝雷射光束PL。各脈衝波 $PL_1 \sim PL_3$ 具有脈衝能量 E_p 及時間寬度 τ_{c1} ，且相鄰之脈衝波彼此之間隔為 τ_{p1} 。此處，脈衝

能量 E_p 即縱軸 E 之單位為(J)。

再者，於脈衝雷射光束PL中，脈衝波之數量、各脈衝波之脈衝能量 E_p 、時間寬度 τ_c 、及相鄰之脈衝波彼此之間隔 τ_p 可調整為特定之值。

其次，自雷射振盪器130出射之脈衝雷射光束PL(亦稱為脈衝雷射光束135)照射至透鏡140。照射至透鏡140之脈衝雷射光束135於此處聚光，而成為脈衝雷射光束PF(亦稱為脈衝雷射光束145)，且照射至玻璃基板10。藉此，於玻璃基板10之第1表面12形成光點149。

光點149之點徑 S 係由以下之(1)式所表示。

$$\text{點徑 } S = (4 \times \lambda \times f \times M^2) / (\pi \times r) \quad (1) \text{式}$$

此處， λ 為脈衝雷射光束135之波長， f 為透鏡140之焦點距離， M^2 為 M 平方值， r 為入射至透鏡140之脈衝雷射光束135之直徑(參照圖3)。

雷射之能量密度 E_m 係藉由自雷射振盪器130輸出之脈衝雷射光束之脈衝能量 E_p 除以由點徑 S 所表示之面積而算出。即，由以下之(2)式所表示。

$$\text{能量密度 } E_m = E_p / (\pi \times (S/2)^2) \quad (2) \text{式}$$

此處，能量密度 E_m ，即圖3中之表示脈衝雷射光束PF之波形之縱軸 E' 之單位為(J/mm²)。

能量密度 E_m 係以超過玻璃基板10之加工閾值 E_t 之方式進行選定。例如設為脈衝雷射光束PL中所包含之各脈衝波 $PL_1 \sim PL_3$ 具有100 μ J以上之脈衝能量 E_p 。於該情形時，藉由將焦點距離設為50 mm，將脈衝雷射光束135之直徑 r 設為2.5 mm，而使能量密度 E_m 超過玻璃基板10之加工閾值 E_t 。

藉由照射脈衝雷射光束145，而於玻璃基板10之第1表面12形成凹部20。

如上所述，脈衝雷射光束145之照射條件係以如下方式進行選定：

(A)凹部20之直徑 ϕ 具有與由上述(1)式所表示之點徑S相等或其以上之尺寸；

(B)凹部20之深度d成為直徑 ϕ 之0.7倍以上。

第1照射階段中之脈衝雷射光束145之照射次數(之後，設為曝光照射數)例如較佳為1次～300次，較佳為5次～100次，更佳為11次～50次左右。

(步驟S130)

其次，於第2條件下對玻璃基板10之凹部20照射脈衝雷射光束。又，藉此於玻璃基板10之第1表面12形成所需之深度之孔。再者，該步驟S130相當於上述第2照射階段。因此，於以下之說明中，亦將步驟S130稱為第2照射階段。

於圖4中，模式性地表示步驟S130，即第2照射階段之情況。如圖4所示，於第2照射階段中，將自函數發生器120輸出之矩形波信號OP自第1照射階段者進行變更。藉此，將自雷射振盪器130出射之脈衝雷射光束PL(脈衝雷射光束135)之波形自第1照射階段者進行變更。

自第1照射階段變更至第2照射階段中之脈衝雷射光束PL之波形之方法並無特別限定。例如，脈衝雷射光束PL亦可藉由PWM(Pulse Width Modulation，脈衝寬度調變)控制方式、輸出調變方式或頻率調變方式而變更波形。

以下，作為一例，對藉由PWM控制方式變更脈衝雷射光束PL之波形之方法進行說明。

於該情形時，如圖4所示，自函數發生器120輸出之矩形波信號OP以包含具有電壓 V_1 之矩形波 $OQ_1 \sim OQ_3$ 之方式進行變更。各矩形波 $OQ_1 \sim OQ_3$ 均具有時間寬度 t_{c2} ，且相鄰之矩形波彼此之間隔為 t_{p2} 。

此處，於比較圖3所示之第1照射階段中之矩形波信號OP與圖4所示之第2照射階段中之矩形波信號OP的情形時，亦可為時間寬度 $t_{c2} < \text{時間寬度 } t_{c1}$ ，及相鄰之矩形波彼此之間隔 $t_{p2} > \text{間隔 } t_{p1}$ 。

其次，將自函數發生器120輸出之矩形波信號OP輸入至雷射振盪器130。藉此，自雷射振盪器130出射輸出已調變之脈衝雷射光束PL。

更具體而言，如圖4所示，脈衝雷射光束PL具有3條脈衝波 $PQ_1 \sim PQ_3$ 。各脈衝波 $PQ_1 \sim PQ_3$ 具有脈衝能量 E_c 及時間寬度 τ_{c2} ，且相鄰之脈衝波彼此之間隔為 τ_{p2} 。

此處，脈衝能量 E_c 係以藉由透鏡140而聚光之脈衝雷射光束PF之各脈衝波 $PG_1 \sim PG_3$ 之能量密度 E_s 成為玻璃基板10之加工閾值 E_t 以下的方式進行選定。能量密度 E_s 例如亦可為加工閾值 E_t 之 $1/10$ 至 $1/2$ 之範圍。

如此，脈衝雷射光束PL，即脈衝雷射光束135藉由透鏡140聚光而成為脈衝雷射光束145，並將其照射至玻璃基板10之凹部20。

如上所述，於第2照射階段中，即便各脈衝波 $PG_1 \sim PG_3$ 之能量密度 E_s 為玻璃基板10之加工閾值 E_t 以下，亦能夠展開玻璃基板10之加工。因此，於以某程度之曝光照射數照射脈衝雷射光束145之後，於玻璃基板10形成具有所需之深度之孔160。於圖4中，示出形成貫通之孔160之例。

第2照射階段中之脈衝雷射光束145之曝光照射數設為凹部20之前端22進展至所需深度為止之次數即可。較佳之曝光照射數根據所需之孔之深度或玻璃基板10之厚度而不同。例如，曝光照射數較佳為1次～3000次，更佳為1次～1500次左右。

根據以上之步驟，能夠於玻璃基板10形成所需之深度之孔。

於第1孔形成方法中，能夠於實際可行時間形成孔，並且能夠有意義

地抑制破裂及/或缺口之產生。

又，亦可藉由於孔形成後對玻璃基板10進行退火處理，其後進行蝕刻處理而擴大孔徑，或使孔內部變平滑，或將玻璃基板表面之碎屑去除。

(第2實施形態)

其次，參照圖5及圖6，對本發明之第2實施形態之於玻璃基板形成孔之方法更詳細地進行說明。

於圖5中，概略性地表示本發明之第2實施形態之於玻璃基板形成孔之方法(以下，稱為「第2孔形成方法」)之流程。

如圖5所示，第2孔形成方法具有以下步驟：

(1)準備具有互為反向之第1及第2表面之玻璃基板(玻璃基板準備步驟)(步驟S210)；

(2)於上述玻璃基板之上述第1表面設置吸收層(吸收層設置步驟)(步驟S220)；

(3)藉由於第1條件下經由透鏡對上述玻璃基板之上述第1表面側照射脈衝雷射，而於上述第1表面形成凹部，上述第1條件係以上述脈衝雷射之能量密度成為上述玻璃基板之加工閾值以下之方式進行選定(凹部形成步驟)(步驟S230)；及

(4)於上述脈衝雷射之能量密度成為上述玻璃基板之加工閾值以下之第2條件下，對上述凹部照射上述脈衝雷射而形成孔(孔形成步驟)(步驟S240)。

以下，對各步驟進行說明。

(步驟S210)

首先，準備被加工用之玻璃基板。再者，由於該步驟與上述第1孔形

成方法之步驟S110相同，故此處不再進行說明。

(步驟S220)

其次，於玻璃基板之第1表面設置吸收層。

吸收層只要具有將步驟S230中所利用之脈衝雷射之至少一部分之能量吸收之功能，則其材料並無特別限定。吸收層例如亦可為包括合成樹脂油墨或碳黑等之顏料。

吸收層係例如藉由噴塗法或噴墨法等設置於玻璃基板之第1表面。

(步驟S230)

其次，於第1條件下對玻璃基板之第1表面照射脈衝雷射。又，藉此於玻璃基板之第1表面形成凹部。再者，該步驟S230相當於上述第1照射階段。因此，於以下之說明中，亦將步驟S230稱為第1照射階段。

於圖6中，模式性地表示步驟S230，即第1照射階段中之情況。再者，於圖6中，為了明確化而不示出吸收層。

如圖6所示，該第1照射階段與如上述圖3所示之第1孔形成方法中之第1照射階段大致相同。

例如，於圖6之例中，對函數發生器120輸入閘信號 I_m ，且自函數發生器120輸出具有電壓 V_1 之矩形波 $OR_1 \sim OR_3$ 。矩形波 $OR_1 \sim OR_3$ 均具有時間寬度 t_{c3} ，且相鄰之矩形波彼此之間隔為 t_{p3} 。又，於圖6之例中，於雷射振盪器130中，基於所輸入之矩形波信號 OP ，出射具有3條脈衝波 $PM_1 \sim PM_3$ 之脈衝雷射光束 PL 。各脈衝波 $PM_1 \sim PM_3$ 具有脈衝能量 E_1 及時間寬度 τ_{c3} ，且相鄰之脈衝波彼此之間隔為 τ_{p3} 。此處，脈衝能量 E_1 ，即縱軸 E 之單位為(J)。

但是，於步驟S230中，構成照射至玻璃基板10之脈衝雷射光束145之各脈衝波 $PH_1 \sim PH_3$ 之能量密度 E_n 係以成為玻璃基板10之加工閾值 E_t 以下

的方式進行選定。

其原因在於：於第2孔形成方法中，藉由存在吸收層，即便脈衝雷射光束145之能量密度 E_n 為玻璃基板10之加工閾值 E_t 以下，亦能夠形成具有如上所述之特徵之凹部20。

即，於第2孔形成方法中，於步驟S220中，於玻璃基板10之第1表面12設置吸收層(於圖6中未示出)。若於玻璃基板10之第1表面12存在此種吸收層，則藉由利用吸收層吸收脈衝雷射光束145，即便玻璃基板10之第1表面12之能量密度較低，亦能相對容易地進行剝蝕。而且，形成具有如上所述之特徵之凹部20，即滿足條件(A)及(B)之凹部20。

第2孔形成方法之第1照射階段中之脈衝雷射光束之曝光照射數例如較佳為1次～300次，更佳為21次～50次左右。

(步驟S240)

其次，於第2條件下對玻璃基板10之凹部20照射脈衝雷射。又，藉此於玻璃基板10形成所需之深度之孔。再者，該步驟S240相當於上述第2照射階段。因此，於以下之說明中，亦將步驟S240稱為第2照射階段。

該步驟S240與上述第1孔形成方法之步驟S130大致相同。即，於該步驟S240中，自雷射振盪器130將具有各脈衝波 $PN_1 \sim PN_3$ 之脈衝雷射光束PL照射至透鏡140。又，將利用透鏡140而聚光之各脈衝波 $PK_1 \sim PK_3$ 照射至玻璃基板10之凹部20。

構成脈衝雷射光束PL之各脈衝波 $PN_1 \sim PN_3$ 具有能量 E_g 。換言之，構成脈衝雷射光束PF之各脈衝波 $PK_1 \sim PK_3$ 具有能量密度 E_k 。而且，該能量密度 E_k 係以成為玻璃基板10之加工閾值 E_t (指不具有吸收層之情形時之加工閾值。以下相同)以下之方式進行選定。能量密度 E_k 例如亦可為玻璃基板之

加工閾值 E_t 之 $1/10$ 至 $1/2$ 之範圍。

如上所述，於第2照射階段中，由於存在凹部20，故而即便各脈衝波 $PK_1 \sim PK_3$ 之能量密度 E_k 為玻璃基板10之加工閾值 E_t 以下，亦能夠展開玻璃基板10之孔加工。

再者，於第2孔形成方法中，步驟S240即第2照射階段中之脈衝波 $PK_1 \sim PK_3$ 之能量密度 E_k 與步驟S230即第1照射階段中之脈衝波 $PH_1 \sim PH_3$ 之能量密度 E_n 的大小關係並無特別限定。

即，兩者之能量密度可為 $E_n > E_k$ ，可為 $E_n = E_k$ ，亦可為 $E_n < E_k$ 。

可明確，即便於第2孔形成方法中，亦可獲得與第1形成方法相同之效果，即，能夠於實際可行時間形成孔，並且能夠有意義地抑制破裂及/或缺口之產生之效果。

又，亦可藉由於孔形成後對玻璃基板10進行退火處理，其後進行蝕刻處理而擴大孔徑，或使孔內部變平滑，或將玻璃基板表面之碎屑去除。

以上，以第1及第2孔形成方法為例，對本發明之一實施形態之具體之孔之形成方法的一例進行了說明。但是，本發明之孔之形成方法並不限定於該等例。

例如，於上述記載中，自第1照射階段移行至第2照射階段時，藉由PWM控制方式使脈衝雷射光束PL之波形變化。但是，亦可利用頻率調變方式代替PWM控制方式。具體而言，能夠藉由改變圖3之各脈衝間隔 t_{p1} 與圖4之各脈衝間隔 t_{p2} ，即改變時間間隔來實現。其結果為，自雷射輸出之各脈衝之間隔 τ_{p1} 與 τ_{p2} 亦發生同樣之變化，能夠照射時間間隔不同之脈衝串，即進行頻率調變之加工。

此外亦可進行各種變更。

又，於以上之記載中，對本發明之一實施形態之使用脈衝雷射於玻璃基板形成孔之方法進行了說明。然而，可明確該方法能夠應用於本發明之另一實施形態之製造具有孔之玻璃基板的方法。

[實施例]

其次，對本發明之實施例進行說明。

(例1)

藉由以下之方法，使用脈衝雷射於玻璃基板形成貫通孔。

首先，準備厚度為0.2 mm之玻璃基板(無鹼玻璃)。

其次，將該玻璃基板設置於如上述圖3所示之裝置100。於裝置100中，對於函數發生器120，使用裝置WW1281A(TOYO Corporation公司製造)，對於雷射振盪器130，使用裝置AVIA-X(Coherent公司製造)。對於透鏡140(光學系統)，使用焦點距離=50 mm之合成石英製平凸透鏡。

其次，實施上述第1孔形成方法中之第1照射階段及第2照射階段。自雷射振盪器130出射之脈衝雷射之波長 λ 設為355 nm，脈衝寬度設為20 ns。重複頻率設為10 kHz。又，脈衝雷射光束入射至透鏡140時之直徑 r 設為2.5 mm。

因此，對於由上述(1)式所表示之點徑 S ，設 $M^2 = 1.2$ 則為10.8 μm 。

於第1照射階段中，對玻璃基板以50次曝光照射來照射能量密度 E_p 為1.31 $\mu\text{J}/\text{mm}^2$ 之脈衝雷射。再者，於本實施例中，玻璃基板之加工閾值能量密度 E_t 為1.09 J/mm^2 。因此為 $E_m > E_t$ 。

藉此於玻璃基板形成凹部。

凹部之直徑 ϕ 約為20.4 μm ，深度 d 約為41.9 μm 。因此，比 d/ϕ 約為2.05。

其次，為了進行第2照射階段，藉由PWM控制方式使自雷射振盪器130

出射之脈衝雷射光束之能量密度變化。

於第2照射階段中，對第1照射階段中所形成之玻璃基板之凹部以460次曝光照射來照射能量密度 E_s 為 0.22 J/mm^2 之脈衝雷射。此處為 $E_s < E_t$ 。

於第2照射階段結束後，觀察玻璃基板。其結果為，確認出於玻璃基板形成有貫通孔。於玻璃基板未觀察到破裂及缺口等異常。

(例2)

藉由與例1相同之方法，使用脈衝雷射於玻璃基板形成貫通孔。

但是，於該例2中，將第1照射階段中之脈衝雷射之曝光照射數設為30次。其他條件與例1之情況相同。

第1照射階段中所形成之凹部之直徑 ϕ 約為 $18.1 \text{ }\mu\text{m}$ ，深度 d 約為 $27.5 \text{ }\mu\text{m}$ 。因此，比 d/ϕ 約為1.51。

於第2照射階段結束後，觀察玻璃基板。其結果為，確認出於玻璃基板形成有貫通孔。於玻璃基板未觀察到破裂及缺口等異常。

(例3)

藉由與例1相同之方法，使用脈衝雷射於玻璃基板形成貫通孔。

但是，於該例3中，將第1照射階段中之脈衝雷射之曝光照射數設為20次。其他條件與例1之情況相同。

第1照射階段中所形成之凹部之直徑 ϕ 約為 $16.1 \text{ }\mu\text{m}$ ，深度 d 約為 $17.6 \text{ }\mu\text{m}$ 。因此比 d/ϕ 約為1.09。

於第2照射階段結束後，觀察玻璃基板。其結果為，確認出於玻璃基板形成有貫通孔。於玻璃基板未觀察到破裂及缺口等異常。

(例4)

藉由與例1相同之方法，對玻璃基板照射脈衝雷射而嘗試形成貫通孔。

但是，於該例4中，將第1照射階段中之脈衝雷射之曝光照射數設為10次。其他條件與例1之情況相同。

第1照射階段中所形成之凹部之直徑 ϕ 約為15.9 μm ，深度d約為10.7 μm 。因此，比 d/ϕ 約為0.67。

於第2照射階段結束後，觀察玻璃基板。其結果可知，自第1照射階段中所形成之凹部加工幾乎未進展，於玻璃基板未形成貫通孔。

(例5)

藉由與例1相同之方法，對玻璃基板照射脈衝雷射而嘗試形成貫通孔。

但是，於該例5中，將第1照射階段中之脈衝雷射之曝光照射數設為5次。其他條件與例1之情況相同。

第1照射階段中所形成之凹部之直徑 ϕ 約為14.5 μm ，深度d約為3.6 μm 。因此，比 d/ϕ 約為0.24。

於第2照射階段結束後，觀察玻璃基板。其結果可知，自第1照射階段中所形成之凹部加工幾乎未進展，於玻璃基板未形成貫通孔。

(例6)

藉由與例1相同之方法，對玻璃基板照射脈衝雷射而嘗試形成貫通孔。

但是，於該例6中，將第1照射階段中之脈衝雷射之曝光照射數設為3次。其他條件與例1之情況相同。

第1照射階段中所形成之凹部之直徑 ϕ 約為12.7 μm ，深度d約為2.9 μm 。因此，比 d/ϕ 約為0.23。

於第2照射階段結束後，觀察玻璃基板。其結果可知，自第1照射階段中所形成之凹部加工幾乎未進展，於玻璃基板未形成貫通孔。

(例7)

藉由與例1相同之方法，使用脈衝雷射於玻璃基板形成貫通孔。

但是，於該例7中，將第1照射階段中脈衝雷射之能量密度 E_m 設為 1.31 J/mm^2 ，將曝光照射數設為50次。又，將第2照射階段中之脈衝雷射之能量密度 E_s 設為 1.31 J/mm^2 ，將曝光照射數設為460次。

第1照射階段中所形成之凹部之直徑 ϕ 約為 $20.4 \text{ }\mu\text{m}$ ，深度 d 約為 $41.9 \text{ }\mu\text{m}$ 。因此，比 d/ϕ 約為2.05。

於第2照射階段結束後，觀察玻璃基板。其結果為，確認出於玻璃基板形成有貫通孔。然而，確認出於玻璃基板產生破裂及缺口。

於以下之表1中，歸總表示例1～例7中之第1照射階段及第2照射階段之條件、第1照射階段後之凹部之形狀、以及第2照射階段後之貫通孔之形成狀況及玻璃基板之狀態。

[表1]

例	第1照射階段		凹部			第2照射階段		貫通孔形成狀況	狀態
	能量密度 (J/mm^2)	曝光照射數 (次)	直徑 ϕ (μm)	深度 d (μm)	比 d/ϕ	能量密度 (J/mm^2)	曝光照射數 (次)		
1	1.31	50	20.4	41.9	2.05	0.22	460	OK	穩固
2	1.31	30	18.1	27.5	1.51	0.22	460	OK	穩固
3	1.31	20	16.1	17.6	1.09	0.22	460	OK	穩固
4	1.31	10	15.9	10.7	0.67	0.22	460	NG	-
5	1.31	5	14.5	3.6	0.24	0.22	460	NG	-
6	1.31	3	12.7	2.9	0.23	0.22	460	NG	-
7	1.31	50	20.4	41.9	2.05	1.31	460	OK	破裂/缺口

又，於圖7中，歸總表示例1～例6中，於第1照射階段後於玻璃基板所形成之凹部之剖面狀態及表面狀態。

(例10)

藉由以下之方法，使用脈衝雷射於玻璃基板形成貫通孔。

首先，準備厚度為 0.2 mm 之玻璃基板(無鹼玻璃)。其次，於該玻璃基

板之一表面設置吸收層。吸收層設為油性丙烯酸漆料(H62-8808 65)，藉由噴霧塗佈而設置於玻璃基板。

其次，藉由與例1之情況相同之方法，對該玻璃基板實施上述第2孔形成方法中之第1照射階段及第2照射階段。自雷射振盪器130出射之脈衝雷射之波長 λ 設為355 nm，脈衝寬度設為20 ns。重複頻率設為10 kHz。又，脈衝雷射光束入射至透鏡140時之直徑 r 設為2.5 mm。

因此，對於由上述(1)式所表示之點徑 S ，設為 $M^2 = 1.2$ 則為10.8 μm 。

於第1照射階段中，對玻璃基板以50次曝光照射來照射能量密度 E_n 為0.22 J/mm²之脈衝雷射。再者，於本實施例中，玻璃基板之加工閾值能量密度 E_t 為1.09 J/mm²。因此為 $E_n < E_t$ 。

藉此於玻璃基板形成凹部。

凹部之直徑 ϕ 約為12.1 μm ，深度 d 約為28.7 μm 。因此，比 d/ϕ 約為2.37。

其次，為了進行第2照射階段，藉由PWM控制方式而使自雷射振盪器130出射之脈衝雷射之能量密度變化。

於第2照射階段中，對第1照射階段中所形成之玻璃基板之凹部以460次曝光照射來照射能量密度 E_s 為0.55 J/mm²之脈衝雷射。此處為 $E_k < E_t$ 。

於第2照射階段結束後，觀察玻璃基板。其結果為，確認出於玻璃基板形成有貫通孔。於玻璃基板未觀察到破裂及缺口等異常。

(例11)

藉由與例10相同之方法，使用脈衝雷射於玻璃基板形成貫通孔。

但是，於該例11中，將第1照射階段中之脈衝雷射之曝光照射數設為30次。其他條件與例10之情況相同。

第1照射階段中所形成之凹部之直徑 ϕ 約為11.5 μm ，深度 d 約為13.0

μm 。因此，比 d/ϕ 約為1.13。

於第2照射階段結束後，觀察玻璃基板。其結果為，確認出於玻璃基板形成有貫通孔。於玻璃基板未觀察到破裂及缺口等異常。

(例12)

藉由與例10相同之方法，使用脈衝雷射於玻璃基板形成貫通孔。

但是，於該例12中，將第1照射階段中之脈衝雷射之曝光照射數設為20次。其他條件與例10之情況相同。

第1照射階段中所形成之凹部之直徑 ϕ 約為 $10.9 \mu\text{m}$ ，深度 d 約為 $7.1 \mu\text{m}$ 。因此，比 d/ϕ 約為0.65。

於第2照射階段結束後，觀察玻璃基板。其結果為，確認出於玻璃基板形成有貫通孔。然而，確認出於玻璃基板產生破裂及缺口。

(例13)

藉由與例10相同之方法，使用脈衝雷射於玻璃基板形成貫通孔。

但是，於該例13中，將第1照射階段中之脈衝雷射之曝光照射數設為10次。其他條件與例10之情況相同。

第1照射階段中所形成之凹部之直徑 ϕ 約為 $9.2 \mu\text{m}$ ，深度 d 約為 $3.3 \mu\text{m}$ 。因此，比 d/ϕ 約為0.35。

於第2照射階段結束後，觀察玻璃基板。其結果為，確認出於玻璃基板形成有貫通孔。然而，確認出於玻璃基板產生破裂及缺口。

(例14)

藉由與例10相同之方法，使用脈衝雷射於玻璃基板形成貫通孔。

但是，於該例14中，將第1照射階段中之脈衝雷射之曝光照射數設為5次。其他條件與例10之情況相同。

第1照射階段中所形成之凹部之直徑 ϕ 約為6.6 μm ，深度d約為1.3 μm 。
因此，比 d/ϕ 約為0.19。

於第2照射階段結束後，觀察玻璃基板。其結果為，確認出於玻璃基板形成有貫通孔。然而，確認出於玻璃基板產生破裂及缺口。

(例15)

藉由與例10相同之方法，使用脈衝雷射於玻璃基板形成貫通孔。

但是，於該例15中，將第1照射階段中之脈衝雷射之曝光照射數設為50次。又，將第2照射階段中之脈衝雷射之能量密度設為1.31 J/mm²，將曝光照射數設為460次。其他條件與例10之情況相同。

第1照射階段中所形成之凹部之直徑 ϕ 約為12.1 μm ，深度d約為28.7 μm 。因此，比 d/ϕ 約為2.37。

於第2照射階段結束後，觀察玻璃基板。其結果為，確認出於玻璃基板形成有貫通孔。然而，確認出於玻璃基板產生破裂及缺口。

於以下之表2中，歸總表示例10～例15中之第1照射階段及第2照射階段之條件、第1照射階段後之凹部之形狀、以及第2照射階段後之貫通孔之形成狀況及玻璃基板之狀態。

[表2]

例	第1照射階段		凹部			第2照射階段		貫通孔形成狀況	狀態
	能量密度 (J/mm ²)	曝光照射數 (次)	直徑φ (μm)	深度d (μm)	比d/φ	能量密度 (J/mm ²)	曝光照射數 (次)		
10	0.22	50	12.1	28.7	2.37	0.55	460	OK	穩固
11	0.22	30	11.5	13.0	1.13	0.55	460	OK	穩固
12	0.22	20	10.9	7.1	0.65	0.55	460	OK	破裂/缺口
13	0.22	10	9.2	3.3	0.35	0.55	460	OK	破裂/缺口
14	0.22	5	6.6	1.3	0.19	0.55	460	OK	破裂/缺口
15	0.22	50	12.1	28.7	2.37	1.31	460	OK	破裂/缺口

又，於圖8中，歸總表示例10～例14中，於第1照射階段後於玻璃基板所形成之凹部之剖面狀態及表面狀態。

如此，確認出藉由於適當決定之條件下利用脈衝雷射實施第1照射階段與第2照射階段，能夠於有意義地抑制於玻璃基板產生之破裂及缺口之狀態下形成貫通孔。

【符號說明】

- 10 玻璃基板
- 12 第1表面
- 14 第2表面
- 20 凹部
- 22 凹部之前端
- 100 裝置
- 120 函數發生器
- 130 雷射振盪器
- 135 脈衝雷射光束
- 140 透鏡
- 145 脈衝雷射光束

149	光點
160	貫通孔
d	深度
E	縱軸
E'	縱軸
E _c	脈衝能量
E _m	能量密度
E _n	能量密度
E _p	脈衝能量
E _s	能量密度
E _t	加工閾值
Im	閘信號
OP	矩形波信號
OP ₁ ~OP ₃	矩形波
OQ ₁ ~OQ ₃	矩形波
OR ₁ ~OR ₃	矩形波
PF	脈衝雷射光束
PH ₁ ~PH ₃	脈衝波
PL	脈衝雷射光束
PL ₁ ~PL ₃	脈衝波
PM ₁ ~PM ₃	脈衝波
PQ ₁ ~PQ ₃	脈衝波
R	直徑

S	點徑
S110~S130	步驟
S210~S240	步驟
t_{c1}	時間寬度
t_{c2}	時間寬度
t_{c3}	時間寬度
t_{p1}	間隔
t_{p2}	間隔
t_{p3}	間隔
V_1	電壓
τ_{c1}	時間寬度
τ_{c2}	時間寬度
τ_{c3}	時間寬度
τ_{p1}	間隔
τ_{p2}	間隔
τ_{p3}	間隔
ϕ	直徑

【發明申請專利範圍】

【第1項】

一種使用脈衝雷射於玻璃基板形成孔之方法，且具有以下步驟：

(1)準備具有互為反向之第1及第2表面之玻璃基板；

(2)藉由於第1條件下經由透鏡對上述玻璃基板之上述第1表面側照射脈衝雷射，而於上述第1表面形成凹部，

上述凹部具有於上述第1表面之直徑 ϕ 及深度 d ，

上述直徑 ϕ 為由以下之(1)式所表示之上述脈衝雷射之於上述第1表面的點徑 S 以上($\phi \geq S$)，上述深度 d 為上述直徑 ϕ 之0.7倍以上，

$$\text{點徑 } S = (4 \times \lambda \times f \times M^2) / (\pi \times r) \quad (1) \text{式}$$

(此處， λ 為上述脈衝雷射之波長， f 為上述透鏡之焦點距離， M^2 為 M 平方值， r 為入射至上述透鏡之上述脈衝雷射之光束之直徑)；及

(3)於上述脈衝雷射之能量密度成為上述玻璃基板之加工閾值以下之第2條件下，對上述凹部照射上述脈衝雷射而形成孔。

【第2項】

如請求項1之方法，其中上述(2)之步驟中之上述第1條件係以上述脈衝雷射之能量密度超過上述玻璃基板之加工閾值的方式進行選定。

【第3項】

如請求項1之方法，其進而具有於上述玻璃基板之上述第1表面設置吸收層之步驟，且

上述(2)之步驟中之上述第1條件係以上述脈衝雷射之能量密度成為上述玻璃基板之加工閾值以下的方式進行選定。

【第4項】

如請求項3之方法，其中上述第2條件中之上述脈衝雷射之能量密度係與上述第1條件中之上述脈衝雷射之能量密度相等或者較其更大。

【第5項】

如請求項1至4中任一項之方法，其中將上述第2條件中之上述脈衝雷射之脈衝串進行調變。

【第6項】

如請求項1至5中任一項之方法，其中上述脈衝雷射之波長 λ 為1200 nm以下。

【第7項】

如請求項1至6中任一項之方法，其中上述直徑 ϕ 為3 μm ～30 μm 之範圍。

【第8項】

如請求項1至7中任一項之方法，其中上述深度 d 為2.1 μm ～120 μm 之範圍。

【第9項】

如請求項1至8中任一項之方法，其中上述點徑 S 為15 μm 以下。

【第10項】

一種製造具有孔之玻璃基板之方法，且具有以下步驟：

(1)準備具有互為反向之第1及第2表面之玻璃基板；

(2)藉由於第1條件下經由透鏡對上述玻璃基板之上上述第1表面側照射脈衝雷射，而於上述第1表面形成凹部，

上述凹部具有於上述第1表面之直徑 ϕ 及深度 d ，

上述直徑 ϕ 為由以下之(1)式所表示之上上述脈衝雷射之於上述第1表面

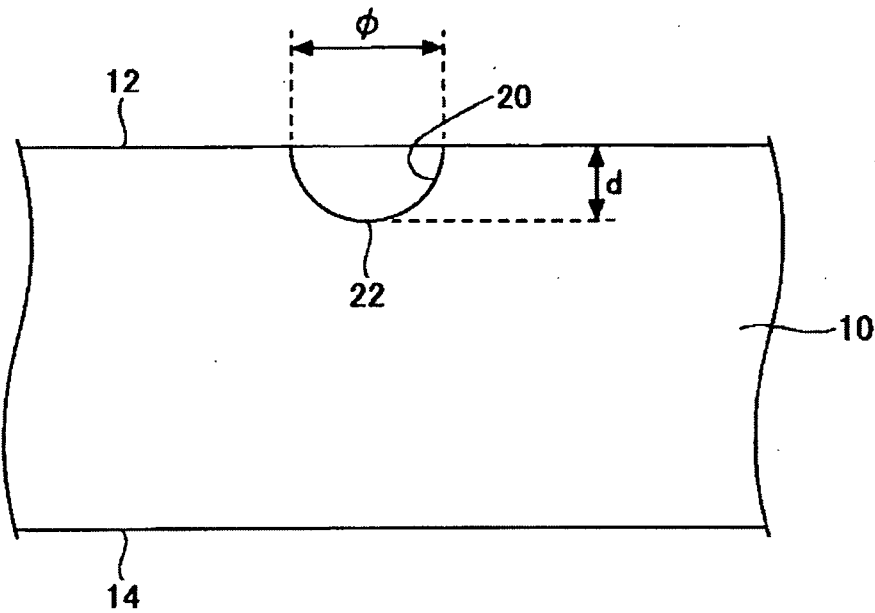
的點徑 S 以上($\phi \geq S$)，上述深度 d 為上述直徑 ϕ 之0.7倍以上，

$$\text{點徑 } S = (4 \times \lambda \times f \times M^2) / (\pi \times r) \quad (1) \text{式}$$

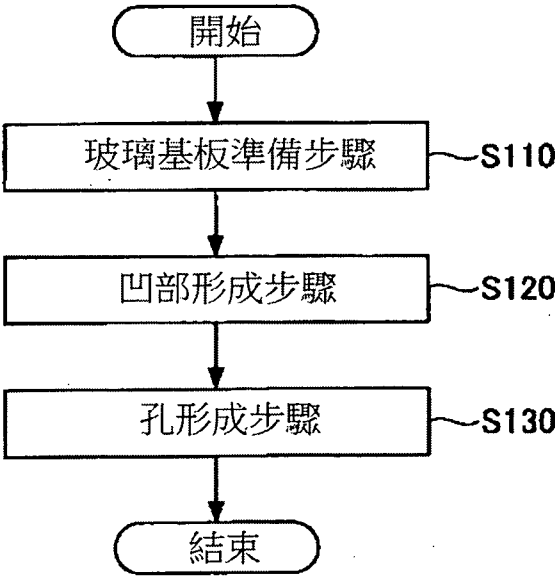
(此處， λ 為上述脈衝雷射之波長， f 為上述透鏡之焦點距離， M^2 為 M 平方值， r 為入射至上述透鏡之上述脈衝雷射之光束之直徑)；及

(3)於上述脈衝雷射之能量密度成為上述玻璃基板之加工閾值以下之第2條件下，對上述凹部照射上述脈衝雷射而形成孔。

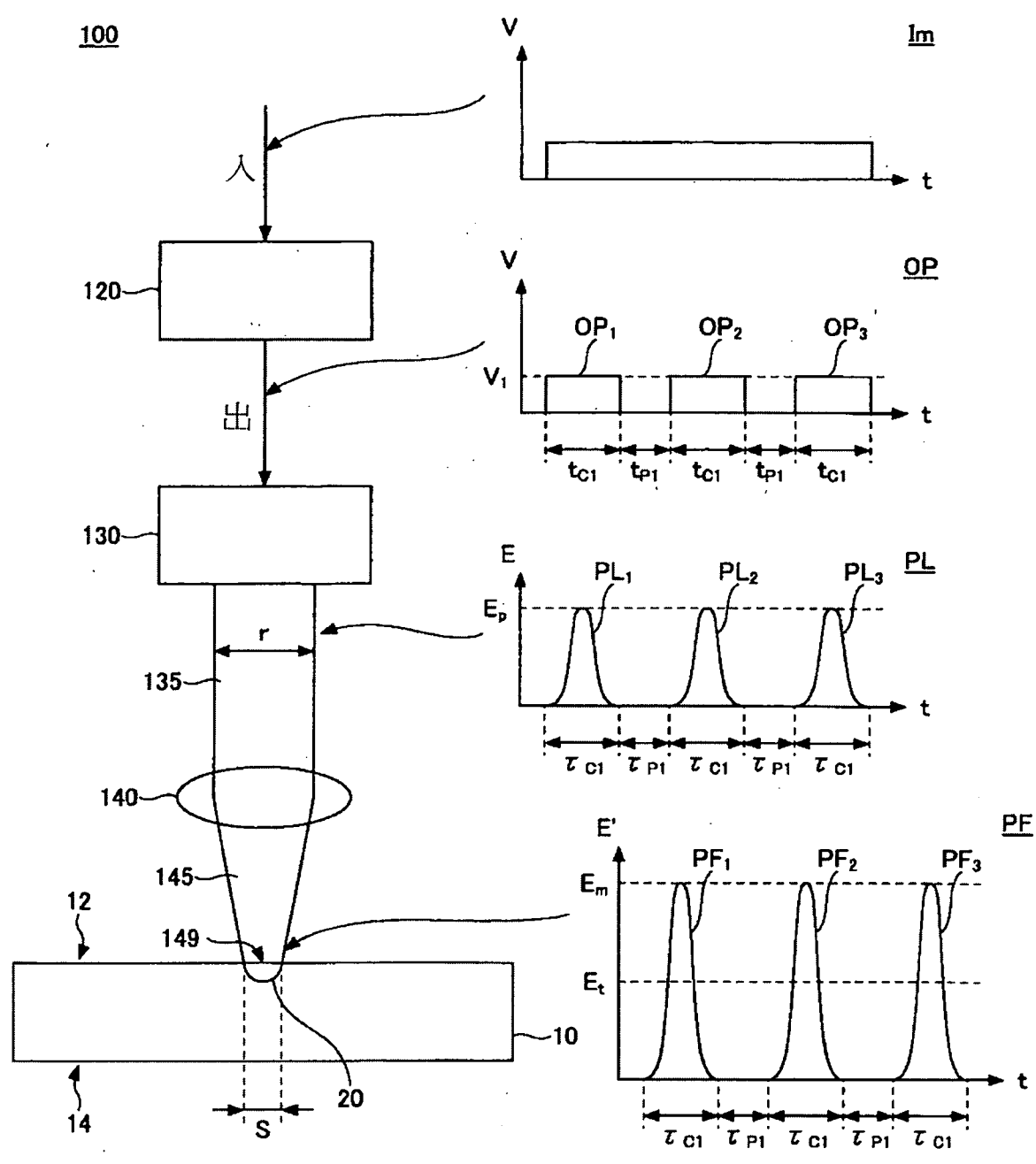
【發明圖式】



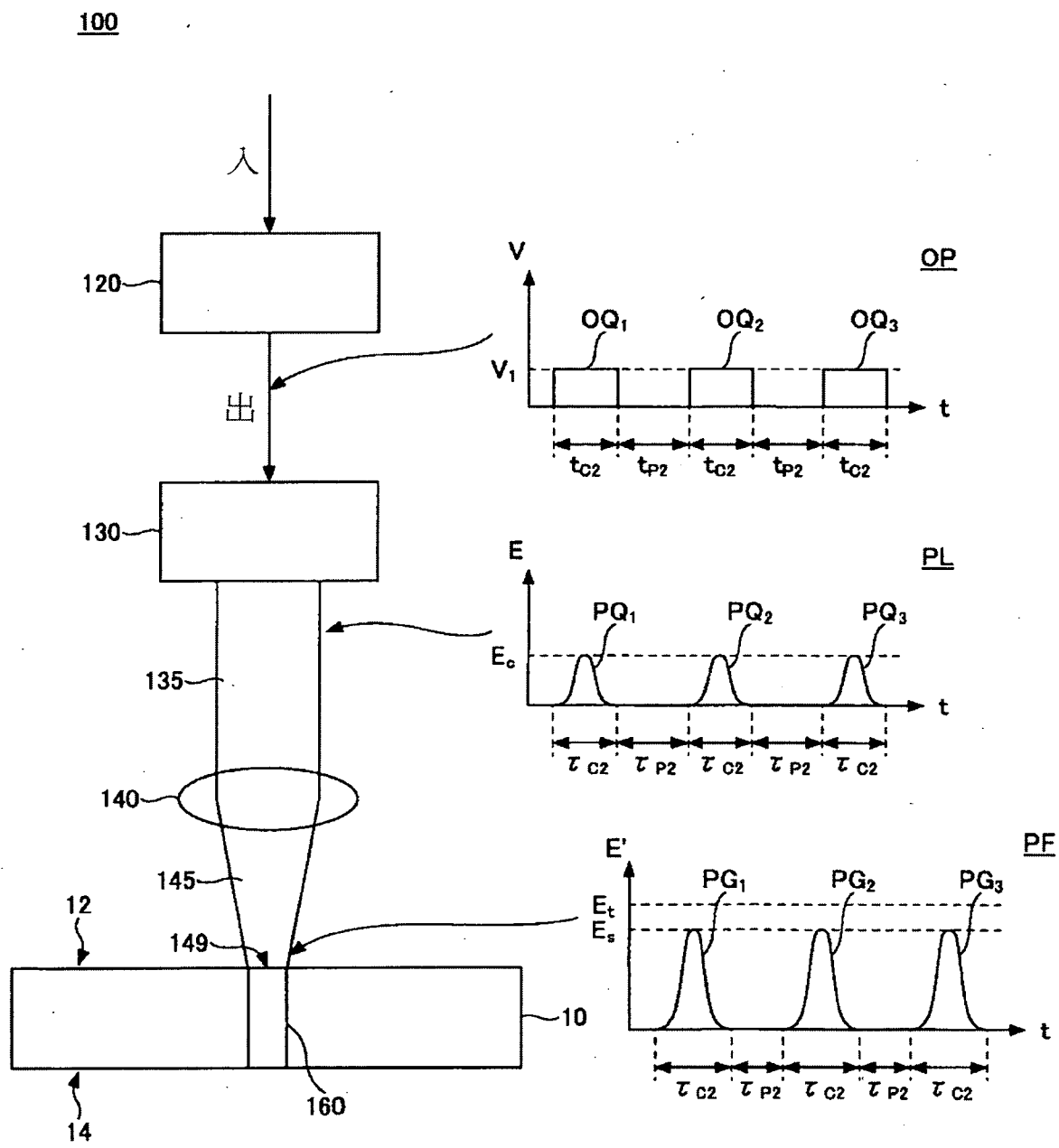
【圖1】



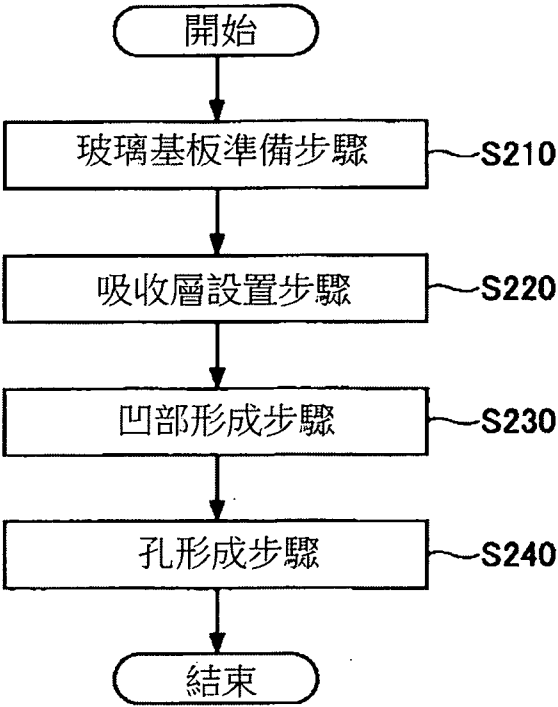
【圖2】



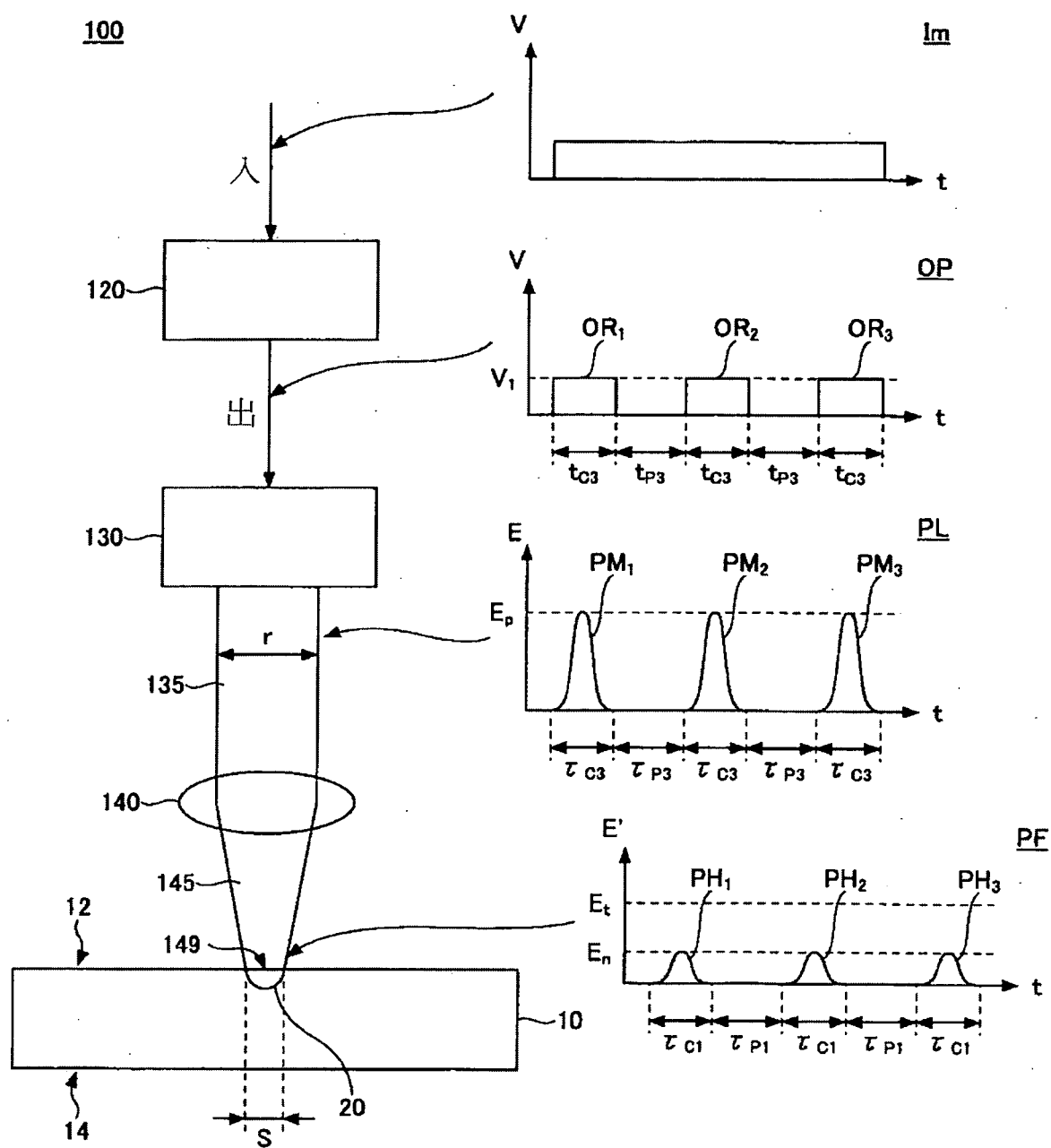
【圖3】



【圖4】



【圖5】



【圖6】