



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本 (11)證書號數：TW I616939 B

(45)公告日：中華民國 107 (2018) 年 03 月 01 日

(21)申請案號：104129751

(22)申請日：中華民國 104 (2015) 年 09 月 09 日

(51)Int. Cl. : *H01L21/268 (2006.01)**H01L21/306 (2006.01)**B23K26/53 (2014.01)**B23K26/352 (2014.01)*

(30)優先權：2014/09/16 德國

10 2014 113 339.0

2014/11/07 德國

10 2014 116 291.9

(71)申請人：L P K F 雷射暨電子股份公司 (德國) LPKF LASER & ELECTRONICS AG (DE)
德國(72)發明人：雅姆伯修斯 諾伯特 AMBROSIUS, NORBERT (DE)；歐斯拓特 羅曼 OSTHOLT,
ROMAN (DE)

(74)代理人：閻啟泰；林景郁

(56)參考文獻：

US 2012/0142186A1

US 2013/0029093A1

審查人員：張錦昇

申請專利範圍項數：17 項 圖式數：3 共 19 頁

(54)名稱

一種用於將至少一凹槽或一穿孔做入一板狀工件的方法

VERFAHREN ZUM EINBRINGEN MINDESTENS EINER AUSNEHMUNG ODER EINER
DURCHBRECHUNG IN EIN PLATTENFOERMIGES WERKSTUECK

(57)摘要

本發明係有關於一種用於將至少一凹槽(4)，特別是穿孔，做入一厚度小於3毫米之板狀工件(1)的方法。為此，將雷射輻射(2)對準該工件(1)之表面。選擇極短的雷射輻射(2)之作用時間，以便僅圍繞該雷射束之射束軸以同心的方式實現工件(1)之改質。以此方式經改質之具有空隙(3)的區域產生一系列氣泡。在隨後的處理步驟中，在工件(1)之由空隙(3)構成的先前藉由雷射輻射(2)而經受改質之區域中，由於蝕刻介質的作用，藉由依次蝕刻而發生各向異性的材料去除。由此，在工件(1)中沿柱形作用區產生作為穿孔的凹槽(4)。

指定代表圖：

符號簡單說明：

- 1 . . . 工件
- 2 . . . 雷射輻射
- 3 . . . 空隙
- 4 . . . 凹槽
- d . . . 厚度



圖1a

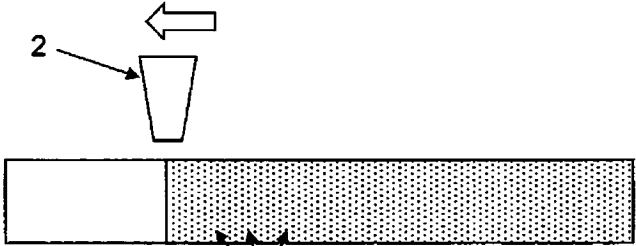


圖1b

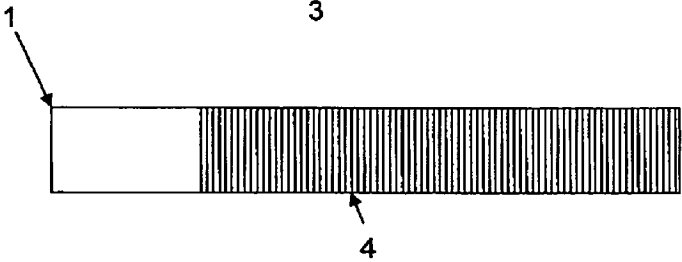


圖1c

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動)

【發明名稱】(中文/英文)

一種用於將至少一凹槽或一穿孔做入一板狀工件的方法

德：Verfahren zum Einbringen mindestens einer Ausnehmung oder einer Durchbrechung in ein plattenfoermiges Werkstueck

【技術領域】

【0001】 本發明係有關於一種用於將至少一凹槽或穿孔做入一厚度小於 3 毫米之板狀工件的方法。作為處理器內核之微晶片通常在其底面上，在相對較小的面積上分佈有數百個相隔較小距離之接觸點。由於間距較小，無法將該等接觸點直接鍍覆至電路板（即所謂之母板）。因此，將由絕緣材料構成的所謂之插入層用作連接元件，以便加寬接觸基礎。此種絕緣及重新佈線層例如由玻璃、玻璃纖維強化之環氧樹脂或矽構成且必須配設多個穿孔。

【先前技術】

【0002】 玻璃用作插入層材料特別有利，因其成本低於矽且其熱膨脹可與主動組件（如微處理器）之熱膨脹相匹配。問題在於如何將玻璃處理成可用的插入層。特定言之，先前技術中尚無法以經濟的方式將多個穿孔做入玻璃工件以實現貫穿連接。

【0003】 DE 10 2010 025 966 B4 揭露一種方法，其在第一步中係對聚焦於玻璃工件之雷射脈衝進行定向，此等雷射脈衝之輻射強度較強，從而在玻璃中沿通道發生局部的非熱破壞。第二處理步驟係將通道擴展成孔洞，具體方式在於，將高壓電能輸往相對之電極，此舉會沿此等通道產生

若干貫穿玻璃工件的介電穿孔。此等穿孔藉由電熱加熱並蒸發孔洞材料而增大，直至在達到期望孔徑時藉由中斷能源輸送而停止此過程。作為替代或補充方案，亦可藉由反應氣體加寬通道，藉由噴嘴將此等反應氣體對準穿孔位置。亦可藉由所輸送的蝕刻氣體加寬穿孔位置。不利之處在於，此相對複雜之過程透過以下而產生：必須首先藉由非熱破壞對工件進行打孔並在下一步中加寬通道直徑以形成孔洞。

【0004】 US 2013/126573 A1 揭露一種藉由產生線絲而對玻璃進行加工的方法。線絲此一概念表示因自聚焦而發生於介質內部的無繞射射束傳播。在適當選擇脈衝能及脈衝持續時間的情況下，特別是在較佳使用重複率處於兆赫範圍之脈衝序列以及短於 10 皮秒之脈衝持續時間的情況下，由於相反效應（即克爾效應所致自聚焦及因較小射束直徑所致繞射而產生的散焦）而產生線絲。雷射束可藉由兩效應之平衡而穿透對該波長透明的材料，其中此雷射束之直徑至少基本上保持恆定。上述方法係在光學穿孔的閾值以下實施材料加工。因此，與採用皮秒脈衝及飛秒脈衝的傳統材料加工相反，需要雷射束進行微弱聚焦。

【發明內容】

【0005】 本發明之目的在於，濕式化學蝕刻或乾式蝕刻可各向異性地作用於材料上的空隙。藉此可依次擴大在第一步中所產生的空隙並以此產生凹槽或穿孔。該方法可以大幅減少時間消耗的方式產生多個凹槽或穿孔。本發明用以達成上述目的之解決方案為一種依據申請專利範圍第 1 項之特徵的方法。本發明的其他技術方案參見附屬項。

【0006】 亦即，本發明提供一種方法，其中例如將雷射束如此這般短

時對準玻璃工件，使得較佳沿該雷射束之射束軸，在該工件之材料中僅實施一系列改質，而不破壞該工件，其中在下一步驟中，僅在該工件之先前藉由雷射束而形成空隙之區域中實施各向異性的材料去除，並且由此將一凹槽或穿孔做入該工件。通常藉由該雷射輻射在工件中產生線性系列之氣泡。藉由蝕刻介質的作用將各氣泡擴大。

【0007】 在本發明中，工件的穿孔係指穿過該工件之總厚度延伸的開口，例如通孔，而未穿過該工件之總厚度延伸的開口（例如盲孔）則稱為凹槽。

【0008】 空隙在下文中係指定域形成的氣泡及/或化學改質。

【0009】 其中，因對多個排成一系列的空隙依次進行蝕刻而形成該凹槽或穿孔，具體方式在於，藉由蝕刻過程將該等先前所產生且藉由蝕刻作用而拓寬成工件中之空腔的空隙依次連接。由此，該蝕刻液快速地逐個到達空隙。在此情況下，重力的影響並非決定性因素。確切而言，該蝕刻進程無論自上而下還是自下而上，皆以相似的方式進行，因此該蝕刻過程特別是可在兩外側同時開始。

【0010】 該蝕刻過程遵循該佈置有空隙的線條穿過該工件內部之作為改質而產生的空隙。該線條可為直線或可遵循近乎任意的被蝕刻過程精確遵循的輪廓。首次使得產生近乎任意的切割輪廓成為可能。

【0011】 與該工件中更靠裏的空隙相比，在靠近外側的空隙區域中，儘管由於作用時間較長而產生較大的加寬，但還會觀察到總體較小的錐形擴展。在該蝕刻過程結束後，該凹槽或穿孔之如此而產生的輪廓的特徵在於一系列橫截面加寬及收縮，其中該等橫截面加寬及收縮既毋需具有一致

的橫截面面積，亦毋需具有一致的至相鄰的橫截面加寬及收縮之間距。

【0012】 由於上述結構與蚯蚓（拉丁語：lumbricus terrestris）的外形相當，故相關領域通常知識者將該結構描述為蚯蚓結構。

【0013】 因此，該蚯蚓結構係指規則及不規則之橫截面加寬及收縮，其可具有連續或不連續之過渡。其中，橫截面加寬或收縮可在關於主軸的橫截面平面內延伸或者傾斜於主軸延伸。此外，相鄰的橫截面加寬或收縮亦可具有若干不在同一直線上的中心點，使得該等橫截面加寬或收縮彼此錯開佈置。相鄰的橫截面加寬之高度亦可彼此一致或彼此不同。此外，該凹槽或穿孔之主軸當然亦可偏離於面法線地傾斜於該工件之表面延伸，而該等橫截面加寬及收縮則定向於一平行於該工件之表面的平面。

【0014】 該蚯蚓結構係與先前技術所揭露的另一種方法相似，其稱作深反應離子蝕刻（deep reactive ion etching, DRIE）。此方法係有關於一種各向異性的乾式蝕刻工藝，其同樣用於在矽中製造微結構，例如用於製造矽穿孔。因此，在實施本發明之方法時，毋需或僅需略微調整後續工藝。

【0015】 其中，因對多個排成一系列的空隙依次進行蝕刻而形成該凹槽或穿孔，具體方式在於，藉由蝕刻過程將該等先前所產生且藉由蝕刻作用而拓寬成工件中之空腔的空隙依次連接。由此，該蝕刻液快速地逐個到達空隙。在此情況下，重力的影響並非決定性因素。確切而言，該蝕刻進程無論自上而下還是自下而上，皆以相似的方式進行，因此該蝕刻過程特別是可在兩外側同時開始。

【0016】 該蝕刻過程遵循該佈置有空隙的線條穿過該工件內部之作為改質而產生的空隙。該線條可為直線或可遵循近乎任意的被蝕刻過程精

確遵循的輪廓。首次使得產生近乎任意的切割輪廓成為可能。

【0017】 與該工件中更靠裏的空隙相比，在靠近外側的空隙區域中，儘管由於作用時間較長而產生較大的加寬，但還會觀察到總體較小的錐形擴展。

【0018】 在該蝕刻過程結束後，該凹槽或穿孔之如此而產生的輪廓的特徵在於一系列橫截面加寬及收縮，其中該等橫截面加寬及收縮既毋需具有一致的橫截面面積，亦毋需具有一致的至相鄰的橫截面加寬及收縮之間距。橫截面加寬及收縮之直徑差視該等待蝕刻之空隙的數目及厚度而定，可小於 $1\text{ }\mu\text{m}$ 或小於 100 nm ，使得該凹槽或穿孔可在宏觀上顯得平滑。

【0019】 可藉由雷射束促成玻璃中之該等改質，透過繞射光學元件以某種方式對該雷射束進行成形，從而產生線性系列之改質。該等改質可藉由脈衝序列或單脈衝而產生。

【0020】 基於該方法之特點，所產生的凹槽或穿孔具有特性形狀。由於該原則上各向同性作用之蝕刻工藝尤其強烈作用於工件中的改質區域且該改質區域通常以線性系列之改質的形式存在，故在該凹槽或穿孔的側面上產生多個環繞且同心的結構。

【0021】 基於該穿孔之結構，該方法特別適合用來製造插入層，因為該等因依次蝕刻空隙而產生的同心環繞的微結構有助於孔洞中後續形成的金屬層獲得極佳的黏著強度。

【0022】 尤其與實踐相關地，將此類工件用作所謂之插入層，用於對多個同質或異質微晶片之接頭進行電連接。作為處理器核心之微晶片通常在其底面上，在相對較小的面積上分佈有數百個相隔較小距離之接觸點。

由於間距較小，無法將該等接觸點直接鍍覆至電路板（即所謂之母板）。因此將插入層用作連接元件，以便加寬接觸基礎。

【0023】 此種插入層較佳由玻璃或矽構成且例如包含接觸面、重新佈線、貫穿連接以及主動及非主動組件。

【0024】 據目前所知，本發明可進一步減小有待以前述方式做入的凹槽之間距，因為藉由該雷射輻射不會破壞該工件，而是僅發生改質或轉換，其中亦可同時降低雷射功率。尤佳地以能穿透該玻璃工件的波長操作該雷射，以便確保該玻璃工件被穿透。特定言之，由此實現基本上與該雷射束軸同軸的柱形改質區，其使得該穿孔或凹槽具有恆定直徑。

【0025】 大於 $1.1\ \mu\text{m}$ 的波長特別有利於矽加工。

【0026】 尤佳地，在該特別由矽構成的工件中產生凹槽或穿孔時，以該射束軸與晶體對稱形成大約 0° 、 45° 或 90° 之角的方式對該雷射束的傳播方向進行定向。

【0027】 與先前技術所揭露的方法相比，該脈衝持續時間得以大幅縮短。根據本發明之方法的一種尤佳設計方案，可以小於 100 毫微秒至小於 1 皮秒的脈衝持續時間來操作該雷射。

【0028】 在適當選擇脈衝能及脈衝持續時間的情況下，特別是在較佳使用重複率處於兆赫範圍之脈衝序列以及短於 10 皮秒之脈衝持續時間的情況下，由於相反效應（即克爾效應所致自聚焦及因較小射束直徑所致繞射而產生的散焦）而產生線絲。

【0029】 該方法原則上並不侷限於該工件的某些材料。在使用介電材料如玻璃時可有望得到成效。在採用以鋁矽酸鹽（特別是硼鋁矽酸鹽）為

基本材料成分的玻璃時可特別有指望得到成效。

【0030】 較佳地，藉由蝕刻工藝（例如液體蝕刻、乾式蝕刻或氣相蝕刻）或透過高壓或高頻蒸發，使該工件至少在其改質區域中經受各向異性的材料去除，以便將凹槽或穿孔做入該工件。藉由該各向異性的材料去除，對原本的材料去除而言，毋需使用依序的去除法，而是可使用平面作用之去除法，其僅對該工藝提出較低要求。確切而言，在該作用時間期間，可同時對所有以上述方式經預處理且相應地經改質之區域定量並定性地實施材料去除，從而顯著減少產生多個凹槽或穿孔所需要的時間總量。

【0031】 該雷射束可藉由兩效應之平衡而穿透對該波長透明的材料，其中該雷射束之直徑至少基本上保持恆定。

【0032】 其中，亦可在雷射束中峰值強度較高時以有利的方式利用其他效應，如電漿形成，來實現更強的散焦。

【0033】 實踐中，散焦與自聚焦間的相互作用週期性地進行，從而產生一系列經改質之材料區域。根據該等效應之特點，亦可產生連貫的通道，即所謂之電漿通道。

【0034】 原則上，該線絲的形成可限制在該材料之最大材料強度的分區段上。在該射線離開克爾介質並發散時，或者在該射束的強度減少至散焦繞射超過自聚焦時，線絲形成終止。

【0035】 實踐中，例如將配設有一定數目之孔洞的玻璃纖維強化之環氧樹脂板用作插入層。在該玻璃纖維氈的表面設有導電通路，該等導電通路伸入各孔洞以填滿之，並在該玻璃纖維氈的另一面延伸至處理器內核的連接觸點。當然，在出現升溫時，在該核心處理器與該玻璃纖維氈間產生

不同的膨脹，並且因此在該兩個組件間產生機械應力。

【0036】 可藉由雷射加工形成該等線絲，其中交替進行加工頭定位及照射。與之相反，在將輻射對準工件時，較佳在加工頭與工件間進行連續的相對運動，以便亦即使得該雷射束連續地以“飛行”運動掠過該工件，亦即使得該相對位置之不中斷的變化產生極快的加工時間。

【0037】 其中，可以恆定速度改變該材料關於該加工頭之相對位置，使得該等待產生之改質的間距在脈衝重複頻率恆定時，遵循預定的網格尺寸。

【0038】 尤佳地以能穿透該工件的波長操作該輻射源，以便確保該工件被穿透。特定言之，由此實現基本上與該射束軸同軸的柱形改質區，其使得該穿孔或凹槽具有恆定直徑。

【0039】 此外，根據另一有利方案，亦藉由該輻射源附加地去除一表面區域，以便如此這般設計該各向異性之去除的作用區，從而產生該等線絲之錐形進入區域。藉由上述方式可簡化隨後的貫穿連接。此外，蝕刻劑的作用例如集中於該區域。

【0040】 根據本發明之方法的一種設計方案，可以小於 50 ps，較佳小於 10 ps 的脈衝持續時間來操作該輻射源。

【0041】 根據本發明的又一同樣尤其有望得到成效的設計方案，該工件特別是在改質後，配設有平面狀的且至少單個的，特別是覆蓋多個隨後待做入之穿孔的金屬層。在下一步驟中，以某種方式去除該等改質區域，從而產生被該金屬層單面封閉的凹槽。其中，較佳在改質後而在材料去除前，對該金屬層進行鍍覆，使得在材料去除後，該例如作為導電通路而鍍

覆的金屬層將該凹槽封閉並同時為待安裝在其上的接觸形成最佳基礎。其中，藉由習知的方法在該凹槽區域實現貫穿連接。此外，透過將該金屬層作為導電通路進行鍍覆，可以較簡便的方式產生期望的電路圖。

【0042】 根據本發明的又一同樣尤其有望得到成效的設計方案，在雷射處理前，在該工件的至少一表面上平面塗佈抗蝕劑。藉由較佳實施為電磁輻射源之雷射束的作用，同時在點狀作用區中去除至少一表面上的抗蝕劑並在該工件中產生改質。藉由上述方式防止未改質之區域在隨後的蝕刻工藝中受到非期望的作用，因而不會損害該材料之表面。其中，該抗蝕劑不會阻礙其下方材料的改質。確切而言，該抗蝕劑要麼可被雷射輻射穿透，要麼被雷射輻射以近乎點狀的方式去除，即例如蒸發。此外，該抗蝕劑亦可包含對該改質起輔助性作用（即例如加速該改質過程）的物質。

【0043】 當然，在塗覆該抗蝕劑之前，可將前述之金屬層鍍覆至該材料的其中一外表面，以便在移除該抗蝕劑後，將該金屬層用作期望的貫穿連接之基礎。

【0044】 該抗蝕劑在處理結束後可殘留在該材料的表面上。較佳地，在各向異性的材料去除後，以習知的方式將該抗蝕劑自該材料的表面移除。

【0045】 原則上，該方法並不侷限於該材料的某些材料組成。當然，在該工件具有鋁矽酸鹽（特別是硼鋁矽酸鹽）作為基本材料成分時，可尤其有望得到成效。

【0046】 根據本發明的又一同樣尤其符合實踐的設計方案，如此這般沿分隔線實現以相鄰方式在工件中產生的線絲之間距，使得該等改質區域相互緊挨或相隔極小距離，以便以上述方式分離明確的材料區域。

【0047】 在做入該等線絲後，因該材料之內應力或由於外力作用而沿該分隔線實現該分離。作為替代或補充方案，亦可藉由熱應力，特別是藉由大溫差而引起該內應力。

【0048】 本發明支持多種實施方式。為對其基本原理進行進一步說明，在圖式中示出該等實施方式其中之一並隨後對其進行描述。

【圖式簡單說明】

【0049】

圖 1 為將凹槽做入工件時的方法流程；

圖 2 為各種凹槽之可能的特點；及

圖 3 為各種凹槽之其他可能的特點。

【實施方式】

【0050】 圖 1 為將穿孔做入板狀工件 1 時的流程圖，其具有多個用於藉由雷射輻射之照射將穿孔做入板狀工件的處理步驟及各處理步驟之隨後的蝕刻。為此，在圖 1a 中將雷射輻射 2 對準工件 1 之表面。其中，工件 1 的厚度 d 不超過 3 mm。選擇極短的雷射輻射 2 之作用時間，以便僅圍繞該雷射束之射束軸以同心的方式實現工件 1 之改質。為此，以能穿透工件 1 的波長操作雷射。圖 1b 以線性系列之氣泡的形式示出此種具有空隙 3 的改質區域。在隨後於圖 1c 中示出的處理步驟中，在工件 1 之由空隙 3 構成的先前藉由雷射輻射 2 而經受改質之區域中，由於未繪示的蝕刻介質的作用，發生各向異性的材料去除。由此，在工件 1 中沿柱形作用區產生作為穿孔的凹槽 4。

【0051】 如圖 2a 及圖 2b 之以及圖 3a 至圖 3c 所示，該穿孔具有多個

在側面上環繞且同心的結構。

【0052】 其中，因對多個排成一系列的空隙 3 依次進行蝕刻而形成凹槽 4，具體方式在於，藉由蝕刻過程將該等先前所產生且藉由蝕刻作用而拓寬成工件 1 中之空腔的空隙 3 依次連接。由此，該蝕刻液快速地逐個到達空隙 3。由於在此情況下，重力的影響並非決定性因素，該蝕刻進程既自上方又自下方進行並且在兩外側同時開始。如圖 2b 所示，由於蝕刻介質在外側區域的作用時間相對較長，空隙 3 在外表面區域形成錐形拓寬。

【0053】 該蝕刻過程遵循佈置有空隙 3 的線條 5 穿過工件 1 內部之作為改質而產生的空隙 3。線條 5 可為直線或可遵循近乎任意的被蝕刻過程精確遵循的輪廓。因而首次使得產生近乎任意的切割輪廓成為可能。

【0054】 與該工件中更靠裏的空隙 3 相比，在靠近外側的空隙 3 區域中，儘管由於作用時間較長而產生較大的加寬，但還會觀察到總體較小的錐形擴展。

【0055】 在該蝕刻過程結束後，凹槽 4 或穿孔之如此而產生的輪廓的特徵在於一系列外形如蚯蚓之橫截面加寬及收縮，其中該等橫截面加寬及收縮既毋需具有一致的橫截面面積（例如圖 2b 及圖 3c 所示），亦毋需具有一致的至相鄰的橫截面加寬及收縮之間距 a_1 、 a_2 （如圖 3c 所示）。其中，橫截面加寬或收縮可佈置在某一關於主軸的橫截面平面內或者如圖 3a 所示，傾斜於主軸佈置。

【0056】 此外，相鄰的橫截面加寬或收縮亦可具有若干中心點，其位於同一個相對工件 1 之表面傾斜的線條 5 上，使得該等橫截面加寬或收縮彼此錯開佈置，其中可將該等橫截面加寬或收縮（如圖 3a 所示）朝該外表

面傾斜定向或者（如圖 3b 所示）平行於該外表面定向。

【0057】 如圖 3c 所示，相鄰的橫截面加寬的各平面重心可具有一定偏差，使得該等橫截面加寬特定言之不佈置在同一直線上。

【符號說明】

【0058】

1：工件

2：雷射輻射

3：空隙

4：凹槽

5：線條

a_1 ， a_2 ：間距

d ：厚度

發明摘要

※ 申請案號： 104129751

※ 申請日： 104/09/09

※IPC 分類： *H01L 21/268* (2006.01)
H01L 21/306 (2006.01)
B23K 26/53 (2014.01)
B23K 26/352 (2014.01)

【發明名稱】(中文/英文)

一種用於將至少一凹槽或一穿孔做入一板狀工件的方法

德：Verfahren zum Einbringen mindestens einer Ausnehmung oder einer Durchbrechung in ein plattenfoermiges Werkstueck

【中文】

本發明係有關於一種用於將至少一凹槽（4），特別是穿孔，做入一厚度小於 3 毫米之板狀工件（1）的方法。為此，將雷射輻射（2）對準該工件（1）之表面。選擇極短的雷射輻射（2）之作用時間，以便僅圍繞該雷射束之射束軸以同心的方式實現工件（1）之改質。以此方式經改質之具有空隙（3）的區域產生一系列氣泡。在隨後的處理步驟中，在工件（1）之由空隙（3）構成的先前藉由雷射輻射（2）而經受改質之區域中，由於蝕刻介質的作用，藉由依次蝕刻而發生各向異性的材料去除。由此，在工件（1）中沿柱形作用區產生作為穿孔的凹槽（4）。

【英文】

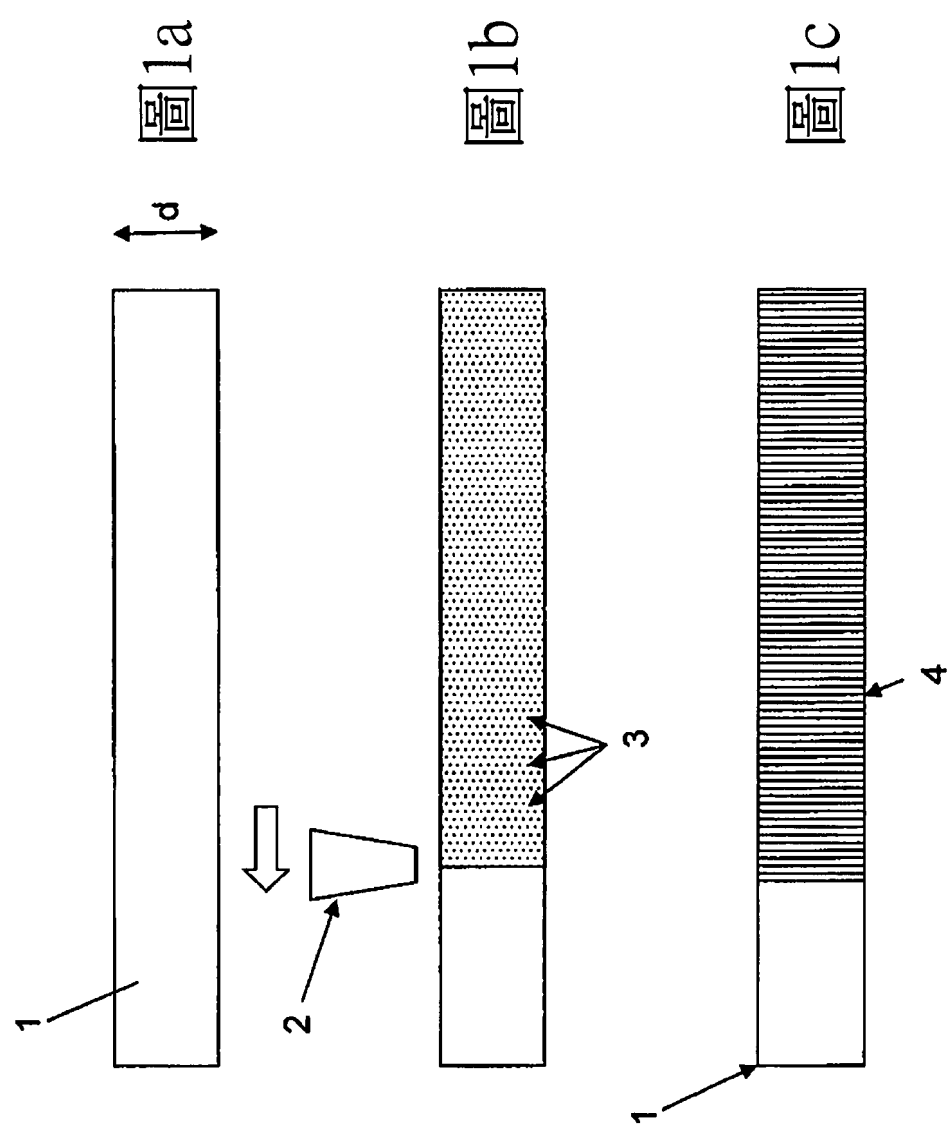
無

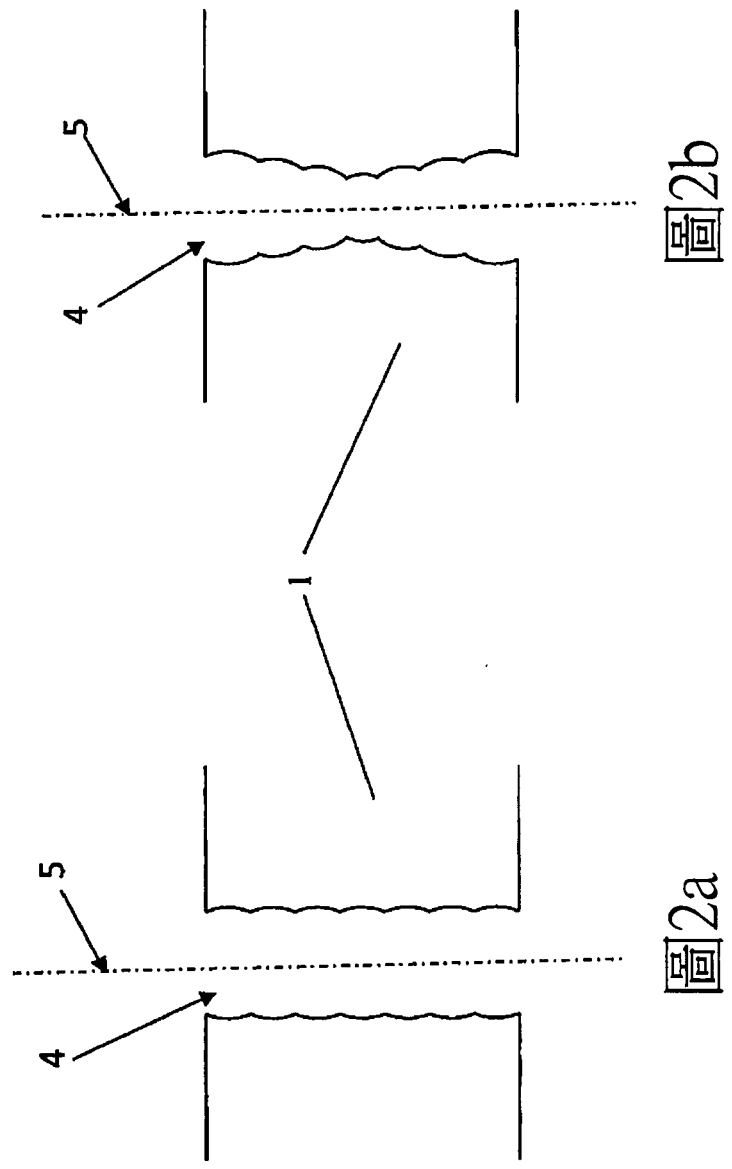
申請專利範圍

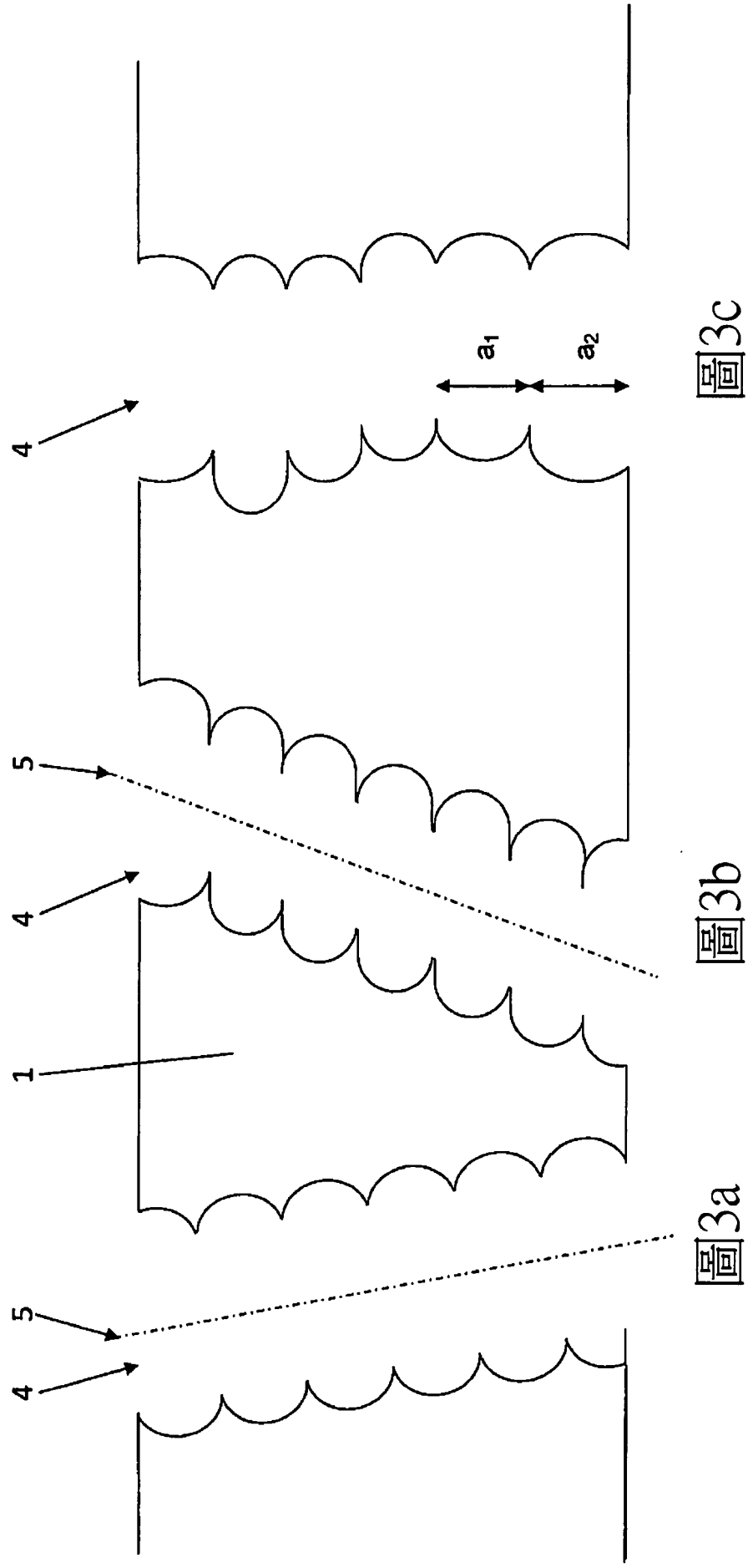
1. 一種用於將至少一凹槽（4）及/或一穿孔做入厚度小於 3 毫米的板狀工件（1）的方法，其特徵在於，由於對多個一個接一個排列的空隙（3）依次進行逐步實施之蝕刻而形成該凹槽（4）及/或該穿孔。
2. 如申請專利範圍第 1 項之方法，其特徵在於，該等空隙（3）沿一線條，特別是沿一軸線或一直線佈置。
3. 如申請專利範圍第 1 項之方法，其特徵在於，以至少分段偏離一直線（線條 5）的方式做入該等空隙（3）。
4. 如申請專利範圍第 1 至 3 項中至少一項之方法，其特徵在於，該等空隙（3）不相互接觸。
5. 如申請專利範圍第 1 至 3 項中至少一項之方法，其特徵在於，該等空隙（3）沿一軸線（線條 5）自一表面延伸至一第二表面。
6. 如申請專利範圍第 1 至 3 項中至少一項之方法，其特徵在於，藉由該蝕刻作用減小該工件（1）的平均厚度。
7. 如申請專利範圍第 1 至 3 項中至少一項之方法，其特徵在於，藉由與一雷射輻射（2）的相互作用而產生該等空隙（3）。
8. 如申請專利範圍第 1 至 3 項中至少一項之方法，其特徵在於，該雷射輻射（2）具有一多數情況下能穿透該工件（1）之材料的波長。
9. 如申請專利範圍第 1 至 3 項中至少一項之方法，其特徵在於，該雷射輻射（2）之脈衝長度小於 100 皮秒，特別是小於 12 皮秒。
10. 如申請專利範圍第 1 至 3 項中至少一項之方法，其特徵在於，該雷射輻射（2）以脈衝的形式與該工件材料相互作用。

11. 如申請專利範圍第 1 至 3 項中至少一項之方法，其特徵在於，該雷射輻射（2）以脈衝序列的形式與該工件材料相互作用，且該脈衝序列包括不超過 20 個單脈衝。
12. 如申請專利範圍第 1 至 3 項中至少一項之方法，其特徵在於，該雷射輻射（2）的焦點藉由時間的移動沿該射束軸穿過該工件（1）。
13. 如申請專利範圍第 1 至 3 項中至少一項之方法，其特徵在於，該雷射輻射（2）的焦點藉由空間射束成形，在該工件材料之總厚度範圍內沿該射束軸相互作用。
14. 如申請專利範圍第 1 至 3 項中至少一項之方法，其特徵在於，藉由具有大球面像差的光學系統或藉由繞射光學元件實現該空間射束成形。
15. 如申請專利範圍第 1 至 3 項中至少一項之方法，其特徵在於，該雷射束之近軸射線與該雷射束之邊緣射線沿該射束軸的焦點位置之差 $>100\text{ }\mu\text{m}$ ，尤佳為 $>250\text{ }\mu\text{m}$ 。
16. 如申請專利範圍第 1 至 3 項中至少一項之方法，其特徵在於，該凹槽（4）或穿孔的側面形成一蚯蚓結構。
17. 如申請專利範圍第 1 至 3 項中至少一項之方法，其特徵在於，該工件（1）之材料具有玻璃、矽及/或藍寶石作為基本材料成分。

圖式







【代表圖】

【本案指定代表圖】：第（ 1 ）圖。

【本代表圖之符號簡單說明】：

1：工件

2：雷射輻射

3：空隙

4：凹槽

d：厚度

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

無