



(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 I742076 B

(45)公告日：中華民國 110 (2021) 年 10 月 11 日

(21)申請案號：106114913

(22)申請日：中華民國 106 (2017) 年 05 月 05 日

(51)Int. Cl. : **B23K26/062 (2014.01)****B23K26/36 (2014.01)**

(30)優先權：2016/05/06 美國

62/332,618

2016/06/16 美國

62/350,978

(71)申請人：美商康寧公司 (美國) CORNING INCORPORATED (US)

美國

(72)發明人：鮑登 布拉德利菲德瑞克 BOWDEN, BRADLEY FREDERICK (US)；郭曉菊 GUO, XIAOJU (CN)；皮耶希 卡列特安卓 PIECH, GARRETT ANDREW (US)；哈克湯瑪士 HACKERT, THOMAS (DE)；維蘭德 克里斯多夫艾倫 WIELAND, KRISTOPHER ALLEN (US)

(74)代理人：李世章；彭國洋

(56)參考文獻：

TW I362370

TW I468354

TW I520804

US 2010/0279067A1

US 2015/0136743A1

審查人員：周永泰

申請專利範圍項數：9 項 圖式數：14 共 68 頁

(54)名稱

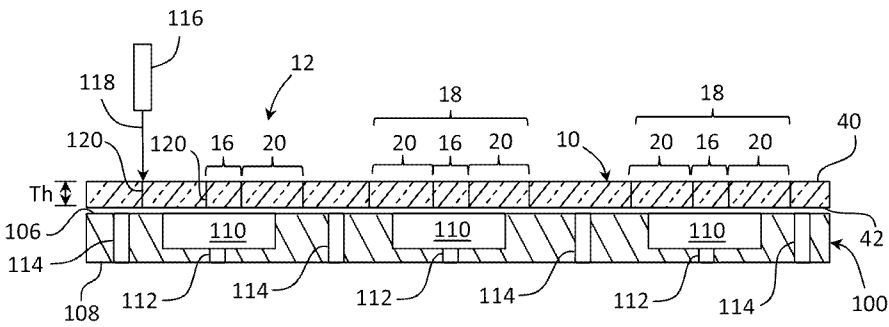
從透明基板雷射切割及移除輪廓形狀

(57)摘要

用於在薄基板中切割、分離及移除內部輪廓形狀的方法，特別係玻璃基板。方法涉及利用超短脈衝雷射在基板中形成缺陷線，隨後使用第二雷射光束以助於隔離內部輪廓界定零件。

A method for cutting, separating and removing interior contoured shapes in thin substrates, particularly glass substrates. The method involves the utilization of an ultra-short pulse laser to form defect lines in the substrate that may be followed by use of a second laser beam to promote isolation of the part defined by the interior contour.

指定代表圖：



第5圖

符號簡單說明：

- 10 . . . 玻璃基板
- 12 . . . 路徑
- 16 . . . 插栓
- 18 . . . 圓盤
- 20 . . . 環形
- 40、42 . . . 主要表面
- 100 . . . 支撐基板
- 106、108 . . . 主要表面
- 110 . . . 凹部
- 112、114 . . . 通道
- 116 . . . 雷射
- 118 . . . 雷射光束
- 120 . . . 缺陷線
- Th . . . 厚度



公告本

申請日:

IPC分類:

I742076

【發明摘要】

【中文發明名稱】從透明基板雷射切割及移除輪廓形狀

【英文發明名稱】LASER CUTTING AND REMOVAL OF CONTOURED
SHAPES FROM TRANSPARENT SUBSTRATES

【中文】

用於在薄基板中切割、分離及移除內部輪廓形狀的方法，特別係玻璃基板。方法涉及利用超短脈衝雷射在基板中形成缺陷線，隨後使用第二雷射光束以助於隔離內部輪廓界定零件。

【英文】

A method for cutting, separating and removing interior contoured shapes in thin substrates, particularly glass substrates. The method involves the utilization of an ultra-short pulse laser to form defect lines in the substrate that may be followed by use of a second laser beam to promote isolation of the part defined by the interior contour.

【指定代表圖】第(5)圖。

【代表圖之符號簡單說明】

10 玻璃基板

12 路徑

16 插栓

18 圓盤

20 環形

40、42 主要表面

100 支撐基板

106、108 主要表面

1 1 0 凹 部

1 1 2 、 1 1 4 通 道

1 1 6 雷 射

1 1 8 雷 射 光 束

1 2 0 缺 陷 線

T h 厚 度

【特徵化學式】

無

【發明說明書】

【中文發明名稱】從透明基板雷射切割及移除輪廓形狀

【英文發明名稱】LASER CUTTING AND REMOVAL OF CONTOURED SHAPES FROM TRANSPARENT SUBSTRATES

【技術領域】

【0001】 本申請案根據專利法法規主張西元2016年6月16日申請的美國臨時專利申請案第62/350,978號和西元2016年5月6日申請的美國臨時專利申請案第62/332,618號的優先權權益，本申請案依賴該等臨時申請案全文內容且該等臨時申請案全文內容以引用方式併入本文中。

【0002】 本發明大體係關於用於切割透明基板的設備和方法，更特別係關於用於切割及移除玻璃片內部的設備和方法。

【先前技術】

【0003】 從薄透明材料基板（例如玻璃）切割物件可利用聚焦雷射光束達成，聚焦雷射光束沿預定輪廓燒蝕基板材料，其中多次掃程用於移除一層又一層材料，直到輪廓界定零件不再附接外部基板塊。燒蝕製程的問題在於需要許多雷射光束掃程來逐層移除材料、產生大量碎屑而可能污染物件的主要表面、沿物件分離邊緣表面產生明顯次表面破壞及表面污染。破壞需大規模研磨或拋光移除，以致增加製造製程複雜度及提高製造成本。破壞亦特別不利於製造要求無缺陷邊緣與表面的物件的製程，例如硬碟

(HDD) 用玻璃碟片、數位編碼器、顯示裝置，例如顯示面板或顯示蓋玻璃等。

【發明內容】

【0004】 本文所述實施例係關於非燒蝕製程，用於由包含玻璃、玻璃陶瓷、陶瓷或選定礦物（例如藍寶石）的薄透明基板（例如等於或小於約10毫米，例如約0.01毫米至約10毫米範圍內、約0.05毫米至約5毫米範圍內、約0.05毫米至約1毫米範圍內或約0.05毫米至約0.7毫米範圍內）切割物件。

【0005】 切割係基於將足夠強度的雷射光束引導至基板，以於待處理材料中誘發非線性吸收，其中基板可讓較小強度的雷射光束實質穿透。較佳地，雷射光束係脈衝雷射光束。切割包含在透明基板內製造線性焦線，以沿焦線造成破壞，從而產生缺陷線。不像雷射斷絲（filamentation）製程仰賴克爾（Kerr）效應引發自我聚焦，在本文所述實施例中，雷射和相關光學元件製造線焦點且不依賴基板的存在。根據本發明方法在基板內沿線焦點產生誘發吸收，以於基板內沿雷射光束焦線製造缺陷，較佳為通過整個基板厚度，而不需雷射斷絲。所得缺陷可含有袋部或空孔，但通常不是延伸貫穿整個基板厚度的穿孔。

【0006】 因此，揭示從基板切割物件的方法，包含：使脈衝雷射光束聚焦成雷射光束焦線，雷射光束焦線實質垂直於基板的主要表面延伸；沿第一預定路徑，將雷射光束

焦線引導至基板的複數個第一位置，雷射光束焦線在基板內產生誘發吸收而在基板內沿雷射光束焦線於複數個第一位置的每一位置製造缺陷線，其中第一預定路徑係封閉路徑；沿第一預定路徑加熱基板，使裂痕綿延通過複數個第一位置的各缺陷線，從而隔離內部插栓與基板；及在隔離後，加熱內部插栓，以自基板移除插栓。基板在脈衝雷射光束波長下呈透明。第一預定路徑例如為圓形路徑。基板可包含玻璃、玻璃陶瓷、陶瓷或藍寶石。

【0007】 在一些實施例中，缺陷線延伸通過整個基板厚度。

【0008】 在一些實施例中，堆疊複數個基板，例如兩個基板、三個基板或更多基板，其中雷射光束焦線延伸通過基板堆疊的各基板而形成缺陷線，缺陷線延伸通過基板堆疊的各基板。

【0009】 方法進一步包含沿第二預定路徑，將雷射光束焦線引導至基板的複數個第二位置，第二預定路徑不與第一預定路徑相交，雷射光束焦線在基板內產生誘發吸收而在基板內沿雷射光束焦線於複數個第二位置的每一位置製造缺陷線。

【0010】 方法進一步包含沿第二預定路徑加熱基板，使裂痕綿延通過複數個第二位置的各缺陷線。第二預定路徑例如為與第一預定圓形路徑同心的圓形路徑。第二預定路徑的半徑大於第一預定路徑的半徑，使得第一預定路徑和第二預定路徑於其間界定環形。

【0011】方法進一步包含沿第三預定路徑，將雷射光束焦線引導至基板的複數個第三位置，雷射光束焦線在基板內產生誘發吸收而在基板內沿雷射光束焦線於複數個第三位置的每一位置製造缺陷線，第三預定路徑從基板邊緣延伸到第二預定路徑。

【0012】方法進一步包含沿第三預定路徑加熱基板，使裂痕綿延通過複數個第二位置的各缺陷線。沿第一預定路徑加熱基板包含使第二雷射光束（例如散焦雷射光束）橫越第一預定路徑。第二雷射光束可為連續波雷射光束。第二雷射光束可為二氧化碳（ CO_2 ）雷射光束或一氧化碳（ CO ）雷射光束，例如連續波 CO_2 雷射或連續波 CO 雷射。

【0013】隔離後加熱插栓包含用熱源加熱插栓，熱源選自由第三雷射光束、紅外發光二極體（LED）、紅外燈和電阻加熱器所組成的群組。第三雷射光束可由和第二雷射光束一樣的雷射產生。熱源只加熱插栓的中心區域。

【0014】第三雷射光束可在插栓上橫越與第一預定路徑間隔開的複數個封閉路徑。插栓會在加熱插栓期間變形。在一些實施例中，在加熱插栓期間或之後，插栓可自基板脫落而不需施加外力。

【0015】至少一部分的插栓加熱達等於或高於基板軟化溫度的溫度。

【0016】 方法進一步包含把基板放置到支撐基板的第一主要表面，支撐基板的第一主要表面包含凹部設在插栓下方。

【0017】 基板束制在支撐基板上，以防止基板移動。例如，在一些實施例中，支撐基板包含複數個通道從支撐基板的第一主要表面延伸到支撐基板的第二主要表面，其中束制包含施加真空至複數個通道。

【0018】 凹部進一步包含通道從凹部延伸到支撐基板的第二主要表面，其中方法進一步包含經由從凹部底面延伸到第二主要表面的通道降低凹部內的壓力，真空經由通道施加。凹部的深度大於插栓的厚度。

【0019】 方法進一步包含在加熱插栓後，冷卻內部插栓。在一些實施例中，內部插栓在冷卻後即自基板脫落，而不需對內部插栓施加機械外力。

【0020】 在另一實施例中，描述以前述任一態樣製作的玻璃物件。

【0021】 在又一實施例中，揭示從基板切割物件的方法，包含：使脈衝雷射光束聚焦成雷射光束焦線，雷射光束焦線實質垂直於基板的主要表面延伸；沿第一預定路徑，將雷射光束焦線引導至基板的複數個第一位置，雷射光束焦線在基板內產生誘發吸收而在基板內沿雷射光束焦線於複數個第一位置的每一位置製造缺陷線，其中第一預定路徑係封閉路徑；沿第一預定路徑加熱基板，使裂痕

綿延通過複數個第一位置的各缺陷線，從而隔離內部插栓與基板；及在隔離後，冷卻內部插栓，以自基板移除插栓。

【0022】 在一些實施例中，堆疊複數個基板，例如兩個基板、三個基板或更多基板，其中雷射光束焦線延伸通過基板堆疊的各基板，例如整個基板厚度，從而形成缺陷線，缺陷線延伸通過基板堆疊的各基板。

【0023】 方法進一步包含在冷卻前加熱插栓。

【0024】 加熱插栓包含將第二雷射光束引導至插栓的中心區域。第二雷射光束例如為 CO_2 雷射光束或 CO 雷射光束。

【0025】 加熱插栓包含加熱至少一部分的插栓達等於或高於基板軟化溫度的溫度。

【0026】 在一些實施例中，冷卻插栓包含將冷卻流體引導至插栓，例如液態氮。

【0027】 在一些實施例中，加熱插栓包含加熱整個基板。

【0028】 在再一實施例中，描述玻璃物件，包含：第一主要表面；相對第一主要表面的第二主要表面；圓形內圍；與內圍同心的圓形外圍，內圍和外圍於其間界定環形，厚度在第一與第二主要表面間延伸且等於或小於約1毫米，第一邊緣表面在第一與第二主要表面之間並圍繞內圍延伸，第二邊緣表面在第一與第二主要表面之間並圍繞外圍延伸，第一或第二邊緣表面的至少一者包含複數個缺陷線在第一與第二主要表面間垂直延伸，其中各缺陷線的

直徑為小於或等於約5微米。第一和第二主要表面可無任何塗層。第一和第二主要表面可未研磨及未拋光。第一和第二邊緣表面可未研磨及未拋光。

【0029】 在又一實施例中，揭示玻璃物件，包含：第一主要表面；相對第一主要表面的第二主要表面；圓形內圍；與內圍同心的圓形外圍，內圍和外圍於其間界定環形，厚度在第一與第二主要表面間延伸且等於或小於約1毫米，第一未研磨及未拋光邊緣表面在第一與第二主要表面之間並圍繞內圍延伸，第二未研磨及未拋光邊緣表面在第一與第二主要表面之間並圍繞外圍延伸；其中第一或第二邊緣表面的至少一者的表面粗糙度 R_a 為等於或小於約0.5微米。

【0030】 第一或第二邊緣表面的至少一者包含複數個缺陷線在第一與第二主要表面間垂直延伸，其中各缺陷線的直徑為小於或等於約5微米。

【0031】 沿第一或第二邊緣表面任一者的次表面破壞深度可等於或小於約75微米，例如等於或小於約25微米。玻璃物件的翹曲量可等於或小於約50微米，例如等於或小於約15微米。

【0032】 玻璃物件的退火點可等於或高於約700℃，例如等於或高於約800℃。

【0033】 玻璃物件在暴露於600℃的溫度中30分鐘並冷卻至23℃的溫度後的壓縮率（compaction）可等於

或小於約 35 ppm（百萬分之一），例如等於或小於約 20 ppm。

【0034】 玻璃物件可包含等於或小於約 5 兆帕（MPa）的內部殘留應力。

【0035】 在一些實施例中，玻璃物件係化學強化玻璃，例如離子交換玻璃。

【0036】 第一或第二主要表面任一者的平均粗糙度 R_a 可等於或小於約 1 奈米，例如等於或小於約 0.5 奈米。

【0037】 玻璃物件可包含等於或小於約 0.5 重量 % 的 SnO_2 ，例如等於或小於約 0.15 重量 % 的 SnO_2 。

【0038】 複數個缺陷線的相鄰缺陷線間距可等於或小於約 7 微米，例如等於或小於約 5 微米，例如等於或小於約 3 微米，例如等於或小於約 1 微米。

【0039】 玻璃物件可包含小於或等於 0.1 % 的鹼金屬氧化物。

【0040】 在一些實施例中，第一和第二主要表面為未研磨及未拋光。第一和第二主要表面無任何塗層。

【0041】 在一些實施例中，圓形外圍的直徑為預定標稱圓形外徑的 ± 15 微米以內，例如預定標稱圓形外徑的 ± 10 微米以內。

【0042】 在一些實施例中，圓形內圍的直徑為預定標稱圓形內徑的 ± 25 微米以內，例如預定標稱圓形內徑的 ± 10 微米以內。

【0043】 在一些實施例中，圓形內圍的中心和圓形外圍的中心彼此位移不超過約10微米，例如不超過約5微米。

【0044】 在再一實施例中，描述從透明玻璃基板切割玻璃物件的方法，包含：沿第一封閉路徑形成複數個第一缺陷，複數個第一缺陷從第一主要表面延伸到玻璃基板內而至垂直於第一和第二主要表面的相對主要表面；使裂痕綿延通過複數個第一缺陷的各缺陷，從而隔離插栓與基板；在隔離後，加熱插栓；其中在停止加熱後，插栓在不施加外力情況下自基板脫落。

【0045】 方法進一步包含沿與第一封閉路徑同心的第二封閉路徑形成複數個第二缺陷，複數個第二缺陷從第一主要表面延伸到玻璃基板內而至垂直於第一和第二主要表面的相對主要表面，其中第二封閉路徑的半徑大於第一封閉路徑的半徑。

【0046】 方法進一步包含沿從玻璃基板邊緣到第二封閉路徑的第三路徑形成複數個第三缺陷，複數個第三缺陷從第一主要表面延伸到玻璃基板內而至垂直於第一和第二主要表面的相對主要表面。

【0047】 在一些實施例中，堆疊複數個基板，例如兩個基板、三個基板或更多基板，其中雷射光束焦線延伸通過基板堆疊的各基板而形成缺陷線，缺陷線延伸通過基板堆疊的各基板。

【0048】 方法進一步包含沿第二封閉路徑加熱玻璃基板，從而驅使裂痕沿第二封閉路徑龜裂。

【0049】方法進一步包含沿第三路徑加熱玻璃基板，從而驅使裂痕沿第三路徑龜裂。

【0050】在另一實施例中，揭示從玻璃基板切割玻璃物件的方法，包含：沿第一封閉路徑形成複數個第一缺陷，複數個第一缺陷從第一主要表面延伸到玻璃基板內而至相對第二主要表面，複數個缺陷線垂直於第一和第二主要表面；使裂痕綿延通過複數個第一缺陷線的各缺陷線，從而隔離插栓與基板；在隔離後，加熱插栓；其中在停止加熱後，插栓自基板脫落。

【0051】在一些實施例中，堆疊複數個基板，例如兩個基板、三個基板或更多基板，其中雷射光束焦線延伸通過基板堆疊的各基板而形成缺陷線，缺陷線延伸通過基板堆疊的各基板。

【0052】方法進一步包含把玻璃基板放置到支撐基板，支撐基板包含凹部設在第一封閉路徑下方，其中凹部的半徑大於第一封閉路徑的半徑。

【0053】方法進一步包含在加熱期間或之後，施加真空於凹部。

【0054】在一些實施例中，形成包含使脈衝第一雷射光束聚焦成雷射光束焦線，雷射光束焦線在玻璃基板的第一與第二主要表面間實質垂直延伸通過整個玻璃基板厚度，雷射光束焦線在基板內產生誘發吸收而在基板內沿雷射光束焦線製造缺陷。

【0055】 在一些實施例中，使裂痕綿延包含沿著或鄰接第一封閉路徑，用第二雷射加熱玻璃基板。第二雷射例如為CO₂或CO雷射。

【0056】 在又一實施例中，描述玻璃物件，包含：玻璃片，包括第一主要表面、相對且實質平行於第一主要表面的第二主要表面，及在第一與第二主要表面間的厚度；複數個第一圓形故障線（fault line），複數個第一故障線中每一圓形故障線包含複數個缺陷線延伸通過玻璃片厚度並垂直於第一和第二主要表面，複數個第一圓形故障線中每一圓形故障線的複數個缺陷線相距約2微米至約20微米範圍內，複數個第一圓形故障線中每一圓形故障線包括中心；其中複數個第一圓形故障線中每一圓形故障線的中心從複數個第一圓形故障線的相鄰圓形故障線位移。

【0057】 玻璃片進一步包含複數個第二圓形故障線，複數個第二故障線中每一圓形故障線包含複數個缺陷線延伸通過玻璃片厚度並垂直於第一和第二主要表面，複數個第二圓形故障線中每一圓形故障線的缺陷線相距約2微米至約20微米範圍內，其中複數個第一圓形故障線的各圓形故障線由複數個第二圓形故障線的圓形故障線劃界。

【0058】 在一些實施例中，複數個第一圓形故障線的各圓形故障線係內部故障線，複數個第二圓形故障線的各圓形故障線係外部故障線，複數個第二圓形故障線的各外部故障線與複數個第一圓形故障線的各內部故障線同心。

【0059】 玻璃片包含長度 L 和垂直於 L 的寬度 W ，每一外部故障線界定半徑 r 的圓盤，在一些實施例中， $((L \cdot W) - n \pi r^2) / (L \cdot W)$ 大於0.66，其中 n 代表在玻璃片上界定的圓盤總數。在一些實施例中， $L \cdot W$ 大於671,600平方毫米 (mm^2)， n 等於或大於70。

【0060】 玻璃片的厚度為約50微米至約3毫米範圍內，例如約0.6毫米至約0.7毫米範圍內。

【0061】 在一些實施例中，玻璃片的第一和第二主要表面為未研磨及未拋光。

【0062】 在又一實施例中，揭示從玻璃基板切割玻璃物件的方法，包含：沿第一封閉路徑形成複數個第一缺陷線，複數個第一缺陷線從第一主要表面延伸到玻璃基板內而至相對第二主要表面，複數個缺陷線垂直於第一和第二主要表面；使裂痕綿延通過複數個第一缺陷的各缺陷，從而隔離插栓與基板，插栓包含界定於第一外圍內的第一主要表面、界定於第二外圍內的第二主要表面和在第一與第二主要表面間延伸的厚度 $P_{\text{厚度}}$ ，邊緣表面在第一與第二主要表面間延伸，其中邊緣表面與第一主要表面的交叉點界定第一邊緣，邊緣表面與第二主要表面的交叉點界定第二邊緣；及改變插栓及/或玻璃基板的溫度，使 $D_{\text{初始}} > \sqrt{(D_{\text{最終}}^2 + P_{\text{厚度}}^2)}$ ，其中 $D_{\text{初始}}$ 代表插栓初始直徑， $D_{\text{最終}}$ 代表改變溫度後的插栓最終直徑。

【0063】 在一些實施例中，堆疊複數個基板，例如兩個基板、三個基板或更多基板，其中複數個缺陷線延伸通過基板堆疊的各基板。

【0064】 在一些實施例中，改變溫度包含加熱整個基板，接著用冷卻劑冷卻插栓。

【0065】 在一些實施例中，改變溫度包含用冷卻劑冷卻插栓。

【0066】 本發明的附加特徵和優點將詳述於後，熟諳此技術者在參閱或實行本文所述實施例，包括以下詳細實施方式說明、申請專利範圍和附圖後，在某種程度上將變得更清楚易懂。

【0067】 應理解以上概要說明和下述詳細說明乃示例描述本發明實施例，及擬提供概觀或架構以對本發明的本質和特性有所瞭解。所含附圖提供進一步瞭解，故當併入及構成說明書的一部分。圖式描繪本發明的各種實施例，並連同實施方式說明來解釋本發明的原理和操作。

【圖式簡單說明】

【0068】 以上敘述在參閱本發明附圖所示的示例性實施例說明後將變得更清楚易懂，其中相同的元件符號代表不同視圖中相仿的零件。圖式未必按比例繪製，重點係放在說明本發明的實施例。

【0069】 第1圖係物件示意圖，包括待從起始母料基板切割的外部與內部輪廓，外部輪廓劃出物件界線，內部輪廓劃出待自物件移除的插栓界線；

【0070】 第2圖圖示示例性光學配置示意圖，用以在基板內製造焦線；

【0071】 第3圖係掃描式電子顯微鏡圖，該圖圖示形成於玻璃基板的缺陷線上視圖，並顯示初始孔洞和有明顯噴出物的孔洞周緣；

【0072】 第4圖係掃描式電子顯微鏡圖，該圖係玻璃基板的截面圖，並圖示數個缺陷線形成於玻璃基板中；

【0073】 第5圖係置於基板支撐件上的基板示意圖，其中一或更多雷射用於在基板中形成缺陷線和後續故障線；

【0074】 第6圖係包含複數個故障線的基板上視圖，故障線界定待自基板移除的複數個零件；

【0075】 第7圖係基板的上視圖並圖示複數個缺陷線沿路徑形成；

【0076】 第8圖係圖示裂痕伸入待自基板移除零件內的示意圖；

【0077】 第9A圖至第9D圖係沿故障線發生分離的順序造成不同情況的示意圖；

【0078】 第10圖係截面圖並圖示雷射用於驅使裂痕沿故障線龜裂；

【0079】 第11圖係第8圖置於支撐基板上的玻璃基板截面圖，其中形成於玻璃基板中的部分插栓加熱達或高於插栓軟化溫度的溫度；

【0080】 第12圖係第11圖置於支撐基板上的玻璃基板截面圖，其中真空經由支撐基板中的凹部施加至隔離插

栓，從而促使插栓上方的空氣壓力驅使插栓脫離玻璃基板；

【0081】 第13圖圖示零件更密集排列在基板上（例如六方最密堆積）；

【0082】 第14A圖係圖示基板原始翹曲量的翹曲量曲線圖，由此產生環形；及

【0083】 第14B圖係圖示由第14A圖基板製造環形的翹曲量曲線圖。

【實施方式】

【0084】 茲揭示從薄易碎材料基板切割及移除一或更多物件的製程，例如薄透明材料。材料例如為透明玻璃材料、透明玻璃陶瓷材料或透明陶瓷材料。製程特別有用於從薄透明玻璃基板切割及移除內部輪廓形狀。方法利用超短時脈衝雷射光束和附隨光學元件，沿基板中的焦線於基板中形成缺陷。焦線和所得缺陷線可延伸通過整個基板厚度，但在進一步實施例中，焦線和所得缺陷線只延伸通過部分基板厚度。複數個缺陷線可沿預定路徑形成，從而形成故障線。預定路徑可為封閉路徑，如此預定路徑劃出待移除零件界線，但在進一步實施例中，預定路徑非封閉路徑。在一些實施例中，故障線形成後可使用雷射光束，例如CO₂雷射光束，雷射光束沿路徑橫越而沿故障線加熱基板，促使零件沿故障線完全分離（隔離）。下述雷射製程可於各種玻璃產生全體（full body）切口且具低次表面破壞（延伸小於約75微米）和良好表面平均粗糙度（其

中裂開邊緣表面的平均表面粗糙度 R_a 等於或小於約 0.5 微米)。平均表面粗糙度係定量計算線性輪廓或面積的相對粗糙度，且以單一數值參數 (R_a) 表示。平均表面粗糙度例如可使用光學輪廓儀(例如白光或雷射干涉)或利用接觸法(通常採用鑽石劃針)量測。適合儀器可取自如 Zygo® 和 Nikon。

【0085】 在此所用「次表面破壞(SSD)」定義為垂直於基板切割邊緣的裂痕或「裂縫」廣度。在一些實施例中，視基板類型而定，基板分離可以單一脈衝雷射掃程達成。此等裂痕伸入基板的距離量級將決定後續研磨及拋光操作需移除的材料量，用以移除邊緣缺陷及改善邊緣強度。可利用如共焦顯微鏡或螢光模具觀察出於任何存在裂痕的光散射，及測定裂痕在特定切割邊緣伸入基板及/或物件主體的最大距離，以量測 SSD。或者，露出邊緣可重複拋光，同時使用共焦顯微鏡檢查邊緣。拋光掉材料時，裂痕量明顯減少。最後，當去掉所有缺陷時，移除材料深度記述為次表面破壞。

【0086】 儘管以下敘述說明係關於玻璃基板(例如玻璃片)，但應瞭解本發明實施例可應用到各種透明材料，例如玻璃、玻璃陶瓷、陶瓷或選定礦物(如藍寶石)。

【0087】 範圍在此表示成從「約」一特定值及/或到「約」另一特定值。依此表示範圍時，另一實施例將包括從一特定值到另一特定值。同樣地，數值以先行詞「約」表示成近似值時，當理解特定值可構成另一實施例。更應理解各

範圍的終點相對另一終點係有意義的，並且獨立於另一終點。

【0088】 在此所用方向用語僅參考繪圖使用，例如上、下、右、左、前、後、頂部、底部，而無意隱射絕對位向。

【0089】 除非明確指出，否則在此提及的任何方法不擬解釋成需按特定順序進行方法步驟或需要任何設備、特定位向。是以當方法請求項未實際敘述步驟依循順序，或任一設備請求項未實際敘述個別部件順序或位向，或者申請專利範圍和實施方式未具體指出步驟限於特定順序，或未提及設備部件的特定順序或位向時，不擬推斷任何相關順序或位向。此適用任何可能的非明示解釋基礎，包括：步驟、操作流程安排、部件順序或部件位向的邏輯事態；從語法組織或標點得出的普通意義；及說明書所述實施例數量或類型。

【0090】 除非內文清楚指明，否則本文所用單數形式「一」和「該」包括複數意涵。故除非內文清楚指明，否則如指稱「一」部件包括具二或更多部件的態樣。

【0091】 在此，「透明」意指用於形成缺陷線の入射雷射光束損失在線性吸收轄域中不超過在基板內傳播的每毫米距離衝擊能量的10%。

【0092】 在此所用「缺陷」一詞係指裂痕，包括微裂痕和對基板分子結構的其他斷鍵破壞。缺陷可包括機械破損，例如由基板與機械物體接觸引起，或者破損可能係因材料與諸如雷射光束等電磁場交互作用所致。

【0093】 在此，「缺陷線」係指線性缺陷（單一長缺陷或一連串排成直線的缺陷），通常、但不限於朝基板厚度方向（垂直於基板的主要表面）延伸。

【0094】 在此，「輪廓」或「路徑」係指基板上的虛擬二維形狀。因此，儘管路徑本身係虛擬形狀，然路徑例如可近似故障線或裂痕。封閉路徑係形成連續環路的路徑，環路劃出及界定內部區域界線。路徑可供衝擊基板表面的雷射光束依循行進。

【0095】 在此，「故障線」係指沿路徑緊密間隔設置的一連串缺陷線。同樣地，釋放線通常從基板邊緣延伸到故障線而界定內部形狀，或在二故障線之間而界定內部形狀。因此，儘管釋放線為故障線，然在此所用「故障線」一詞將用於描述玻璃基板內部（不與基板邊緣相交）的形狀，釋放線則表示從基板邊緣延伸到內部故障線或從一內部故障線到另一內部故障線的故障線。

【0096】 在此所用「分離」一詞係指材料破裂（例如破損），例如裂痕或其他缺陷（通常為開裂），此將形成兩個相對表面。分離則宜解釋成裂開，但不完全隔離基板開裂界定的某一部分與鄰接部分基板的另一部分。反之，隔離係指沿預定路徑完全延伸通過基板裂開，以致完全隔離開裂界定的第一基板部分與相鄰第一部分的另一基板部分，使得第一部分相對於相鄰部分個別移動。造成隔離的開裂例如可完全圍繞基板的封閉路徑（例如封閉輪廓）延伸並進一步完全延伸通過基板厚度。開裂界定材料內部部

分完全與封閉路徑外的材料部分隔離，使內部部分能獨立於外部周圍部分移動。然應注意隔離未必在封閉路徑附近裂開。

【0097】 本文所述實施例係關於利用切割、隔離及移除製程來露出上述製程產生的高品質邊緣，且在隔離及移除製程不破壞物件情況下，將透明材料切割成一或更多具特定預定輪廓形狀的物件的方法。第1圖圖示母料玻璃基板10。亦圖示第一內部預定路徑12和第二外部預定路徑14（相對於內部路徑12），其中第一和第二路徑代表封閉路徑。在所示實施例中，第一和第二路徑12、14為圓形路徑，其中第二路徑14與第一路徑12同心，但在進一步實施例中，第一和第二路徑未必為圓形。根據第1圖實施例，第一路徑12界定包含第一半徑 r_1 的第一圓盤，以下為插栓16，第二路徑14界定包含第二半徑 r_2 的第二圓盤18。第一路徑12和第二路徑14於其間界定環形20。亦即，待獲得物件的環形20係自基板10周圍材料移除的第二圓盤18且插栓16自第二圓盤18移除。故環形20必須無基板10的周圍部分，插栓16需自第二圓盤18的周圍材料移除。自基板10釋放（移除）環形20可利用圍繞第二路徑14的切口和沿路徑22的額外切口（釋放線）達成，此可讓移除環形的製程變容易。然就基板10的內部部分而言，例如插栓16，可不製作切口，因為切口會破壞周圍環形，在本實例中為關注商業零件。此外，本文所述製程可製造基本無鋸口的切口。故儘管插栓16可與周圍材料

隔離而能個別移動，然插栓仍留存在環形內。插栓可受環形推進，但極可能會破壞環形。

【0098】 儘管本發明詳述自第二圓盤18移除插栓16以形成後續圓形孔洞及自玻璃基板移除環形20，但本文所述方法可用於移除各種任意形狀物件，包括、但不限於規則幾何形狀，例如圓形、三角形、矩形或槽形。自基板移除的物件可具有圓角，或者角部可呈尖銳（例如以一定角度與邊緣相交）特徵結構。

【0099】 在玻璃基板中形成內部封閉切口並移除所得內部零件以形成開口（例如記憶體磁碟基板中的中心轉軸孔）的挑戰在於，即使沿封閉預定路徑製造適當緊密間隔缺陷線來形成故障線，裂痕仍可能在與缺陷線相交的路徑周圍綿延而隔離內部零件與周圍材料，切割製程基本為零鋸口製程。亦即，製程製造的典型缺陷線直徑為約1微米，介於缺陷線間的裂痕表面間隔基本為零。因此，即便內部零件可移除，然若試圖移除，則會碰到周圍材料邊緣，導致零件、周圍材料或兩者碎裂。故當自第二圓盤18移除插栓16以形成環形20時，移除插栓可能破壞環形。自動化分離及移除製程的困難為併入讓隔離內部零件從周圍材料脫落而不破壞周圍材料的步驟。至於圓盤18方面，自第二圓盤中心移除插栓和本身環形部分皆是如此。亦即，當自圓盤18移除插栓16及自周圍基板材料移除環形20時，宜避免破壞環形20。無論是待切割材料展現出高內部應力且容易在如化學強化玻璃基板（例如

Gorilla® 玻璃) 中形成裂痕，還是若材料為低應力(例如適於形成顯示面板的玻璃基板，例如 Eagle XG® 玻璃、Corning Lotus™、Lotus™ XT 及/或 Lotus™ NXT 玻璃)，問題皆存在。在此，高應力玻璃係中心張力(在玻璃的厚度方向上)等於或大於約 24 兆帕(MPa)的玻璃。低應力玻璃的中心張力通常小於約 24 MPa。Gorilla® 玻璃、Eagle XG® 玻璃、Corning Lotus™、Lotus™ XT 及/或 Lotus™ NXT 玻璃在此特別提出，但後附申請專利範圍不應限於此，因為示例性製程和方法可應用到其他玻璃，例如鹼土硼鋁矽酸鹽玻璃(具少量或無鹼金屬)、鋁矽酸鹽玻璃、含鹼土玻璃等。

【0100】如上所述，本發明大體係針對用於切割及移除部分玻璃基板的方法和設備。然在特定實施例中，本發明係針對以控制方式精確切割、分離及自玻璃基板移除任意形狀物件的雷射方法和設備，並具微乎其微的碎屑且對切割邊緣的破壞極小，因而保持物件強度。所得物件只需最少或甚至不用邊緣精整(研磨及/或拋光)，在某些實施例中，涉及最少或不用精整物件的主要表面。方法依仗以低雷射光束強度形成缺陷線的雷射波長下的基板材料透明度和線性光學吸收，此能維持乾淨又質樸的表面品質，及依仗以高雷射光束強度沿雷射焦線誘發非線性吸收。製程的可行關鍵要素為超短脈衝雷射光束產生缺陷的高深寬比，此容許形成缺陷線在待切割材料的主要表面間延伸。原則上，缺陷線可利用單一雷射脈衝形成。然若有需

要，附加脈衝可用於增大影響區域的尺寸（例如深度和寬度）。

【0101】 使用短脈衝皮秒雷射和附隨光學元件沿雷射光束縱軸（亦即光束傳播方向）產生焦線，可沿預定路徑或輪廓於基板上形成一連串緊密間隔缺陷線，缺陷線延伸通過至少部分基板厚度，例如玻璃片。缺陷線的直徑通常小於數微米。一連串沿路徑的缺陷線稱作故障線，一連串缺陷線可由一連串缺陷線間裂痕連結，裂痕由基板中存有應力自我形成或隨後暴露於熱源（例如第二雷射光束）引發的應力形成，藉以隔離一部分基板與另一部分基板。

【0102】 形成線焦點的光學方法可採取多種形式，例如利用環狀雷射光束與球面透鏡、旋轉三稜鏡透鏡、繞射元件或其他方法來形成高強度線性區。雷射類型（皮秒、飛秒等）和波長（IR、綠光、UV等）亦可很多樣，只要能達到足使基板材料崩解的光學強度即可。雷射波長通常乃選擇讓輻射可高度穿透基板（例如玻璃片）。以玻璃為例，1064奈米光通常係較佳波長，其中可利用如使用Nd:YVO₄作為增益介質的高強度脈衝雷射。當雷射脈衝通過此等光學元件時，光能形成高強度線性區並延伸通過整個基板厚度。更大體而言，選定波長可為約2微米至約11微米範圍內，例如約10.6微米、5.32微米、3.55微米或2.66微米，但視材料而定，其他波長亦適用。

【0103】 在一些實施例中，個別脈衝的脈寬為約0.1皮秒至約100皮秒範圍內，例如約5皮秒至約20皮秒範圍

內，個別脈衝的重複率為約1千赫至約4兆赫範圍內，例如約10千赫至約650千赫範圍內。隨著頻率增加，製程操作速度亦可提高。然隨著頻率增加，每脈衝能量將減小。

【0104】雷射可形成穿透玻璃基板的缺陷線。缺陷線可包括微裂痕，但亦可包括內部開口或空孔，例如直徑約1微米。此等缺陷線通常間隔約1至約20微米，例如約0.5至約15微米範圍內、約0.5至約3微米範圍內或約3至約10微米範圍內。例如，在一些實施例中，相鄰缺陷線間的週期性為0.5微米至1.0微米。缺陷線例如可延伸通過整個玻璃基板厚度，且一般垂直於基板的主要（平坦）表面，但在進一步實施例中，缺陷線只延伸通過部分基板厚度。再者，在一些實施例中，缺陷線製造成與基板主要表面夾一角度，例如若期環形20有倒角邊緣時。

【0105】除了依上述個別脈衝重複率的單一脈衝操作，亦可在二或更多脈衝（例如3個脈衝、4個脈衝、5個脈衝、10個脈衝、15個脈衝、20個脈衝或更多）的衝串內產生脈衝，脈衝衝串內的各脈衝間隔約1奈秒至約50奈秒範圍內的時間，例如約10奈秒至約50奈秒範圍內、約10奈秒至約30奈秒範圍內，例如約20奈秒，衝串重複頻率可為約1千赫至約4兆赫範圍內。就特定雷射而言，衝串內相鄰脈衝（脈衝至脈衝間隔）的間隔時間 T_p 相當均勻（例如 $\pm 10\%$ ）。例如，就產生約20奈秒脈衝間隔 T_p 的雷射而言，衝串內脈衝至脈衝間隔 T_p 維持在約 $\pm 10\%$ 以內或約 ± 2 奈秒。各脈衝「衝串」間的時間（亦即衝串間

隔時間 T_b) 將長很多 (例如 $0.25 \leq T_b \leq 1000$ 微秒 , 例如約 1 微秒至約 10 微秒範圍內或約 3 微秒至約 8 微秒範圍內) 。在示例性實施例中 , 就脈衝叢發重複率或頻率約 200 千赫的雷射而言 , 間隔時間 T_b 為約 5 微秒。雷射叢發重複率與某一衝串內第一脈衝與後一衝串內第一脈衝間的時間 T_b 有關 (雷射叢發重複率 = $1/T_b$) 。

【0106】 在一些實施例中 , 雷射叢發重複率為約 1 千赫至約 650 千赫範圍內。例如 , 雷射叢發重複率可為如約 1 千赫至約 300 千赫範圍內。各衝串內第一脈衝與後續衝串內第一脈衝間的時間 T_b 可為約 0.25 微秒 (4 兆赫叢發重複率) 至約 1000 微秒 (1 千赫叢發重複率) 範圍內 , 例如約 0.5 微秒 (2 兆赫叢發重複率) 至約 40 微秒 (25 千赫叢發重複率) 範圍內或約 2 微秒 (500 千赫叢發重複率) 至約 20 微秒 (50 千赫叢發重複率) 範圍內。個別脈衝的脈寬 T_d 可高達 100 皮秒 (例如 0.1 皮秒、5 皮秒、10 皮秒、15 皮秒、18 皮秒、20 皮秒、22 皮秒、25 皮秒、30 皮秒、50 皮秒、75 皮秒 , 包括其間所有範圍與子範圍) 。衝串內各脈衝的能量或強度可不等於衝串內其他脈衝的能量或強度 , 在一些實施例中 , 受控於雷射設計 , 衝串內多個脈衝的強度分布通常隨時間呈指數衰減 , 但在其他實施例中 , 衰減並不明顯。確切時序、脈寬和叢發重複率因雷射設計而異 , 但以高強度短脈衝 ($T_d < 20$ 皮秒 , 較佳地 , $T_d \leq 15$ 皮秒) 運作尤佳。

【0107】 量測基板材料的每衝串平均雷射能量可大於40微焦耳每毫米材料厚度，例如約40微焦耳/毫米至約2500微焦耳/毫米範圍內，例如約200微焦耳/毫米至約800微焦耳/毫米。換言之，每衝串能量通常為約25微焦耳至約750微焦耳範圍內，例如約50微焦耳至約500微焦耳範圍內或約50微焦耳至約250微焦耳範圍內，包括其間所有範圍與子範圍。在一些實施例中，每衝串能量為約100微焦耳至約250微焦耳範圍內。例如，就厚度約0.5毫米至約0.7毫米範圍內的Corning 2320非離子交換玻璃而言，200微焦耳脈衝串用於切割及分離玻璃，此提供約285微焦耳/毫米至約400微焦耳/毫米的示例性範圍。基板與雷射光束間相對移動則可用於形成包含一連串缺陷線的故障線，缺陷線描繪任何預定零件（例如插栓）的形狀軌跡。

【0108】 特別係就鹼土硼鋁矽酸鹽玻璃（具少量或無鹼金屬）而言，體積能量密度約0.005微焦耳/立方微米或更高可確保缺陷線形成。然能量密度應保持小於約0.100微焦耳/立方微米，使玻璃遭最少破壞，例如約0.005微焦耳/立方微米至約0.100微焦耳/立方微米範圍內。

【0109】 脈衝串內的個別脈衝能量將比前述小，確切的個別雷射脈衝能量取決於脈衝串內的脈衝數量和雷射脈衝隨時間的衰減率（若有）（例如指數衰減率）。例如，就恆定的每衝串能量而言，若脈衝串含有10個個

別雷射脈衝，則各雷射脈衝所含能量比相同脈衝衝串僅具 2 個個別雷射脈衝時小。

【0110】 使用能產生此種脈衝衝串的雷射有利於切割或改質透明材料，例如玻璃。相對於使用在時間上由單一脈衝雷射重複率隔開的單一脈衝，使用脈衝衝串序列（雷射能量散佈遍及衝串內的快速脈衝序列）比起使用單一雷射脈衝更能獲取較大高強度時間標度與基板材料交互作用。儘管單一脈衝可擴增時間，但脈衝內的強度需下降約 $1/\text{脈寬}$ 。故若 10 皮秒單一脈衝擴增成 10 奈秒脈衝，則強度將下降約三個數量級。如此下降會使光學強度降低到非線性吸收不再顯著且光-材料交互作用不再足以供作切割的程度。反之，利用脈衝叢發雷射時，衝串內各脈衝期間的強度可維持得很高，例如間隔時間約 10 奈秒的三個 10 皮秒脈衝仍可使各脈衝強度比單一 10 皮秒脈衝高約 3 倍。故雷射容許在現已大三個數量級的時間標度內與基板交互作用。調整衝串內多個脈衝可操縱雷射-材料交互作用的時間標度，以助於增加或減少光與預存電漿捲流交互作用、增加或減少光-材料與預先遭初始或先前雷射脈衝激發的原子和分子交互作用，及增加或減少材料加熱影響以助於控制微裂痕生長。改質材料所需叢發能量取決於基板材料組成和與基板交互作用的線焦點特性。交互作用區越長，越多能量散佈，且需要越高叢發能量。當單一脈衝衝串基本上照在基板上同一位置時，缺陷線將形成於基板中。亦即，單一衝串內多個雷射脈衝對應基板上的單一缺

陷線。當然，由於基板平移（例如利用恆定移動平臺）或光束相對於基板移動，衝串內個別脈衝不會在基板上完全相同的位置。然個別脈衝彼此在1微米內仍屬適當，亦即照射在基板上基本相同位置。例如，個別脈衝彼此按間距 s_p 照射基板，其中 $0 < s_p \leq 500$ 奈米。例如，當基板位置遭20個脈衝的衝串撞擊時，衝串內個別脈衝彼此在250奈米內照射基板。故在一些實施例中，間距 s_p 為約1奈米至約250奈米範圍內，例如約1奈米至約100奈米範圍內。

【0111】 在一些實施例中，超短（例如10皮秒）叢發脈衝雷射用於以一致、可控制及可重複的方式形成高深寬比缺陷線。用於形成適當缺陷線的示例性光學裝配細節將描述於後與西元2013年1月15日申請的美國專利申請案第61/752,489號，該申請案全文內容以引用方式併入本文中。此概念核心係使用光學透鏡組件的旋轉三稜鏡透鏡元件，以利用超短（皮秒或飛秒時間）貝索（Bessel）光束形成高深寬比無錐形缺陷線。換言之，旋轉三稜鏡和其他相關光學部件將雷射光束聚集到大致呈圓柱形的高深寬比（長度長暨直徑小）區域。由於聚集雷射光束產生高強度，雷射電磁場會與基板材料產生非線性交互作用，使雷射能量轉移到基板。然在雷射能量強度不夠高的區域（例如玻璃表面、圍繞中心輻合線的玻璃體積），基板無任何反應，因為該等位置的雷射強度小於線性與非線性閾值。

【0112】如第2圖所示，雷射（未圖示）發射雷射光束30至光學組件32的光束入射側。光學組件32沿雷射光束軸在光學組件32輸出側的界定距離將雷射光束30轉換成擴展雷射光束焦線34。熟諳此技術者將明白，焦線34的長度會因折射率變化而改變，例如在空氣傳播與基板傳播之間。基板10置於光束路徑、光學組件32後，與雷射光束焦線34至少部分重疊。光學組件32例如包括旋轉三稜鏡36、準直透鏡37和聚焦透鏡38。元件符號40表示基板面向光學組件32的主要表面，元件符號42表示基板10的相對主要表面，此通常與主要表面40平行。基板厚度（垂直於表面40、42量測）標為d。

【0113】光學組件32形成所謂準非繞射光束，比起習知高斯（Gaussian）雷射光束，此係繞射或擴展較不快速的光束。此等光學元件最常用於形成所謂高斯貝索光束，此係非繞射光束的一種形式，且能輕易在比傳統高斯光束長100倍或甚至1000倍的長度上維持密集聚焦。

【0114】在雷射光束焦線34與基板10重疊的區域中，雷射光束焦線34於基板材料產生（假設適當雷射強度沿著雷射光束焦線34）誘發吸收（非線性吸收），以於基板材料中製造缺陷線。缺陷形成不僅在局部焦線區域，亦發生在基板10內的整個焦線長度。雷射光束焦線34的平均直徑例如為約0.1微米至約5微米範圍內，例如約0.1微米至約4微米範圍內，例如約0.1微米至約3微米範圍內，例如約0.1微米至約2微米範圍內，例如約0.1微米至

約 1 微米範圍內，聚焦區域延伸數毫米的長度（例如約 0.5 至約 10 毫米範圍內）。

【0115】 如前所述，在雷射光束 30 的波長 λ 下為透明的基板材料因誘發非線性吸收而沿焦線 34 加熱形成缺陷線。上述製程產生具極特性化邊緣的片段且包含垂直條紋。每一條紋係單一雷射脈衝或單一雷射脈衝衝串的圖徵並代表缺陷線的一部分。如同缺陷線，此等條紋可週期性間隔約 1 至 50 微米，例如間隔 1 至 20 微米，例如間隔約 5 至約 15 微米範圍內。條紋代表聚焦雷射能量改質基板材料，造成平行雷射光束軸的長線性破壞軌跡（缺陷線）。該區的基板材料遭密化或化學改變。缺陷線通常包括由此浮現的裂痕且徑向延伸到基板內約 5 至 10 微米，或在一些情況下為高達 25 微米，裂痕尺寸通常與寄存於材料的雷射能量成比例關係。缺陷線可具開放區域，但通常不是穿過基板厚度的連續孔。缺陷線的頂部和底部常有開孔。孔洞的開放區域通常具有小於 1 微米的直徑，但在一些條件下可做得更大，例如直徑高達 5 微米。孔洞通常具有凸起區域或由噴射及熔化材料圍繞的「火口緣」，直徑通常為約 3 微米至約 8 微米範圍內。第 3 圖係在玻璃基板表面的典型缺陷線的掃描式電子顯微鏡圖，該圖圖示凸緣和噴出物。第 4 圖係玻璃基板截面的掃描式電子顯微鏡圖，該圖圖示缺陷線沿著至少部分長度。

【0116】 使用缺陷線來界定零件邊緣可提供所得物件高尺度品質。由於隔離物件的裂痕由缺陷線引導，短脈衝

雷射光束的空間精度和準確度將決定裂痕綿延方向，在環形實例中，可使內外半徑達微米級精度，例如小於25微米，例如小於約15微米，通常約 ± 5 微米，但無疑為容限。對比機械製程，機械製程無法引導裂痕圍繞此半徑。亦對照其他雷射製程（例如CO₂雷射切割），其中裂痕由CO₂雷射光束形成的熱點引導而熱綿延，但不受形成於基板的任何預定缺陷引導。缺少引導缺陷會造成裂痕游移，此意味著無法達到嚴密（微米級）準確度。其他雷射製程，例如高斯聚焦UV或可見雷射燒蝕以在基板頂部形成溝槽或裂痕，亦受制於尺度控制不佳，因其傾向只控制玻璃的一個表面的裂痕。

【0117】 儘管有表面條紋，分離基板造成的裂痕刻面應具高品質（斷裂強度、幾何精度、粗糙度及避免再機械加工要求）。表面粗糙度特別係因焦線34的光點尺寸或點徑所致。為達成小光點尺寸，例如在給定雷射波長 λ 的情況下為0.5微米至2微米，通常會對輸入光束直徑和光學組件32的數值孔徑作出某些要求。

【0118】 為達成所需數值孔徑，光學組件一方面應根據已知Abbe公式（ $N.A. = n \sin(\theta)$ ）具備給定焦距所需開口，其中 n 代表玻璃的折射率， θ 代表孔徑半角， $\theta = \arctan(D/2f)$ ；其中 D 代表孔徑直徑， f 代表焦距）。另一方面，雷射光束需照射光學組件達所需數值孔徑，此通常利用擴束達成，例如在雷射與聚焦光學元件間使用擴束望遠鏡。

【0119】 為達到沿焦線均勻交互作用的目的，光點尺寸不應變化太大。確保方式例如為僅在小圓形區域照射聚焦光學元件，使光束開口和數值孔徑百分比僅略微變化。符合此等需求且可應用於產生焦線34的適合光學組件32包括取自Corning Laser Technologies的雷射處理裝置CLT 45G。

【0120】 應注意焦線34可製造及配置使焦線34完全位在基板10內、僅穿越一個主要表面或穿越基板的兩個主要表面。可充分改變光學元件的聚焦位置，使得只有一部分基板深度遭破壞。在此情況下，條紋可從基板頂部延伸到基板中間某處或從基板底部延伸到基板內部某處。在焦線34完全位在基板塊體內的實例中，應理解表面閾值不同於體積閾值，故通常入口孔和出口孔仍由入射光束形成於基板中，接著為無損壞區域，隨後為缺陷線。亦即，儘管焦線34可完全位在基板內，表面破壞仍存在。在此情況下，仍可分離零件與基板，但可能損及對裂痕方向或分離輪廓的完全控制。使用延伸到兩個主要表面40、42的焦線34可達成最佳結果，因如此可增進隔離關注零件的能力及最小化邊緣強度變異。故實際上可達成理想切割，同時避免在基板表面羽化及產生大顆粒。

【0121】 視材料性質（光學吸收、熱膨脹係數（CTE）、應力、組成等）和選擇用於處理選定基板材料的雷射參數而定，單獨形成故障線足以引發分離，在一些情況下可隔離物件。自我分離及/或自我隔離猶如自發事件發生，無

需增加機械外力。大多數強化玻璃(切割前已經離子交換)皆是如此，並具有顯著(亦即等於或大於約24兆帕)的內部或中心張力(CT)。在此情況下，通常不需次要製程促成隔離(但不移除插栓)，例如機械施加張力(例如彎曲)或加熱(例如使用雷射光束)。

【0122】 儘管如此，在一些情況下，預存應力或故障線製造期間形成的應力可能不足以自動隔離內部零件。形成故障線本身不足以引發隔離通常係殘留應力不足的非強化玻璃的情況，例如顯示型玻璃，例如Eagle XG®、LotusTM、LotusTM XT及/或LotusTM NXT或在任何離子交換步驟前切割的可離子交換玻璃。故次要製程步驟為促成隔離所需。例如，隔離達成方式可為在形成故障線後施加機械力或在形成故障線期間使用紅外雷射光束(例如CO₂或CO雷射光束)重新追蹤先前依循路徑，以沿路徑局部加熱基板及產生足夠熱應力，無需燒蝕，迫使零件隔離。亦即，沿故障線形成一或更多全體裂痕，接著隔離內部零件。另一選擇為例如使雷射僅部分橫越預定路徑才開始分離，其中隔離係手動進行，例如藉由彎曲或其他施力。選擇性雷射分離可使用發射波長約9微米至約11微米範圍內的散焦連續波CO₂雷射進行，例如10.6微米，及控制雷射工作週期來調整功率，但在進一步實施例中，可使用其他波長和雷射介質(例如CO雷射)。聚焦變化(亦即散焦程度)可用於改變基板表面的雷射光束光點尺寸，以改變誘發熱應力，其中光點尺寸定義為波峰強度的

$1/e^2$ 。產生故障線後，達成雷射引發分離及隔離通常採用在基板表面約40瓦至400瓦範圍內的功率、光點尺寸約2毫米至約12毫米範圍內，雷射光束沿故障線的橫越速率為約50毫米/秒至約3000毫米/秒範圍內，例如約80毫米/秒至約500毫米/秒範圍內。若光點尺寸太小（亦即小於約1毫米）或雷射功率太大（大於約400瓦）或掃描速度太慢（小於約1毫米/秒），則基板將過熱、產生燒蝕、熔化或熱產生裂痕，此非所期，因會降低分離零件邊緣強度。較佳地，雷射光束掃描速度為大於約50毫米/秒，藉以引發有效可靠的零件分離。然若雷射產生的光點尺寸太大（大於約20毫米）或雷射功率太小（小於約10瓦，或在一些情況下為小於約30瓦）或掃描速度太快（大於約500毫米/秒），則加熱不夠充分，導致熱應力太低而無法引發可靠的零件分離。

【0123】 在一些實施例中，可使用以200瓦功率操作的CO₂雷射，於玻璃表面的點徑為約6毫米，掃描速度為約250毫米/秒，引發0.7毫米厚的Corning Eagle XG®玻璃發生零件分離，玻璃已用上述皮秒雷射改質。厚基板比薄基板需要每單位時間更多雷射熱能來分離，或者具低CTE的基板比具高CTE的基板需要更多CO₂雷射熱能來分離。雷射光點通過給定位置之前或之後，可很快（例如約1秒以內）沿故障線分離，例如100毫秒以內、50毫秒以內或甚至25毫秒以內。

【0124】 然即使基板在形成故障線後具有足夠內部應力來開始自我分離或自我隔離，零件的幾何形狀會阻礙零件輕易自周圍基板材料移除。當待移除零件為另一零件的內部部分（例如插栓16）時尤其如是。因此，由於插栓與周圍基板材料間缺少足夠空隙（間隙），故插栓可保持在適當位置。裂痕在隔離插栓的缺陷線間綿延，但插栓與周圍基板材料間沒有空間讓插栓在不破壞周圍材料的情況下從母料基板材料移除。釋放線只破壞關注周圍零件。

【0125】 現參照第5圖及第6圖，現將描述從玻璃基板10切割及移除物件的方法，然應理解方法可應用到其他基板材料。方法包括把母料玻璃基板10放置到平面支撐基板100的步驟。玻璃基板厚度d可為約50微米至約3毫米範圍內，例如約100微米至約2毫米範圍內，例如約300微米至約1毫米範圍內。例如，在一些實施例中，玻璃基板厚度為約0.5毫米至約0.7毫米範圍內。較佳地，玻璃基板10係融合形成玻璃基板，其中在玻璃基板中形成缺陷線前，尚未研磨或拋光第一和第二主要表面40、42，但在進一步實施例中，玻璃基板包括已研磨及/或拋光的第一和第二主要表面，在進一步實施例中，玻璃基板10可由其他形成製程形成，包括、但不限於浮式和狹槽形成製程。當玻璃處於高溫時，融合製程形成玻璃基板的兩個表面通常不接觸機械處置表面。如此能形成具質樸表面的大片玻璃，又不需拋光移除表面污染或其他缺陷。融合形成玻璃基板的表面不具拋光印痕，且玻璃邊緣附近沒有

S n 濃縮物。融合形成片的表面粗糙度通常小於 1 奈米 R a ，但常常小於約 0.5 奈米 R a 。

【0126】 對照之下，習知浮式製程製作的玻璃在形成製程期間具有一側接觸熔融錫（S n）。儘管浮式玻璃製程通常以較熔融抽拉製程低的成本製造玻璃，但仍有許多缺點。錫的存在會於玻璃片內產生污染或化學圖徵。另外，浮式製程無法使玻璃像熔融抽拉製程般平滑。此意味著 S n 側需拋光以符合最終粗糙度準則，亦需移除 S n 污染本身。基於至少上述原因，較佳採用融合形成玻璃片。

【0127】 在實施例中，玻璃基板 10 在約 0 °C 至約 300 °C 溫度範圍可包含約 $30 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$ 至約 $40 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$ 範圍內的熱膨脹係數，例如約 $30 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$ 至約 $40 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$ 範圍內，例如約 $30 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$ 至約 $36 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$ 範圍內，包括其間所有範圍與子範圍。玻璃基板的退火點可等於或高於約 700 °C，例如等於或高於約 800 °C。在一些實施例中，玻璃基板的退火點為約 700 °C 至約 820 °C 範圍內，例如約 710 °C 至約 730 °C 範圍內，在其他實施例中，玻璃基板的退火點為約 800 °C 至約 810 °C 範圍內。退火點可利用如 ASTM C336（纖維伸長率）或 ASTM C598（射束彎曲）量測。在實施例中，玻璃基板在經歷 600 °C 的溫度 30 分鐘並冷卻至室溫（23 °C）後包含等於或小於約 35 ppm 的壓縮率，例如小於約 20 ppm。壓縮率量測可為把多個基標放在基板上及使基板經熱循環處理，接著量測基標間的相對位置變化或收縮量。

【0128】 在實施例中，玻璃基板（主要表面）的平均表面粗糙度（ R_a ）經任何研磨或拋光前為等於或小於約0.5 nm。玻璃基板可包含氧化錫（ SnO_2 ），含量為等於或小於約0.5重量%，例如等於或小於約0.3重量%，例如等於或小於約0.2重量%。在一些實施例中，玻璃基板包含小於約0.15重量%的 SnO_2 ，但在進一步實施例中，玻璃基板基本不含 SnO_2 。在一些實施例中，玻璃基板包括等於或大於約25克/立方公分的密度，楊氏模數為約75吉帕（GPa）至約90 GPa範圍內，例如約80 GPa至約85 GPa範圍內，例如約82 GPa至約84 GPa範圍內，包括其間所有範圍與子範圍。玻璃密度可使用計算數位密度計量測。楊氏模數可利用ASTM E111量測，例如E111-04(2010)。玻璃基板可包含約900℃至約1100℃範圍內的軟化溫度，例如約950℃至約1050℃範圍內，例如約970℃至約1050℃範圍內，例如約1025℃至約1050℃範圍內，例如約1040℃至約1050℃範圍內。在一些實施例中，玻璃基板包括約1040℃至約1050℃範圍內的軟化溫度，包括其間所有範圍與子範圍。軟化溫度例如可利用ASTM C338量測。

【0129】 玻璃較佳無鹼金屬氧化物，因為鹼金屬暴露於高溫時會隨時間遷移，造成化學污染及毒化系統的其他層，例如硬碟的磁性層。例如，在一些實施例中，玻璃係無鹼金屬氧化物的鋁硼矽酸鹽玻璃。在此所用「無鹼金屬氧化物」意指鹼金屬氧化物等於或小於約0.1重量%。玻

璃較佳實質不含 As_2O_3 （氧化砷），其中「實質不含 As_2O_3 」一詞意指不含除原料所含原有雜質等之外的 As_2O_3 ，玻璃組成中的 As_2O_3 含量為 0.1 重量 % 或更低（較佳為 50 ppm 或更低）。玻璃較佳實質不含 Sb_2O_3 （氧化銻），其中「實質不含 Sb_2O_3 」一詞意指不含除原料所含原有雜質等之外的 Sb_2O_3 ，玻璃組成中的 Sb_2O_3 含量為 0.1 重量 % 或更低（較佳為 50 ppm 或更低）。

【0130】支撐基板 100 包含第一主要表面 106 和第二主要表面 108，其中玻璃基板 10 的第二主要表面 42 置於支撐基板 100 的第一主要表面 106 上。在第 5 圖、第 10 圖、第 11 圖及第 12 圖中，為清楚呈現，支撐基板 100 繪示成與玻璃基板 10 分開，但實際上，玻璃基板可直接置於支撐基板頂部。支撐基板 100 可於表面 106 包括一或更多凹部 110，當母料玻璃基板 10 置於支撐基板 100 上時，位於母料玻璃基板 10 上的內部預定輪廓位置將設在各凹部上面。亦即，凹部 110 可設在母料玻璃基板 10 待形成內部故障線的各位置下方。每一凹部 110 有數種用途。第一，凹部 110 可在玻璃基板 10 於後續處理時加熱的部分之間提供間隙。在一些實施例中，支撐基板 100 包含適當聚合物材料，以免污損及破壞玻璃基板。聚合物材料可包括低熔化溫度，故很容易受熱損壞。或者，聚合物材料可包括高熔化溫度，如此聚合物不受加熱影響。

【0131】第二，當自玻璃基板釋放插栓時，凹部 110 可提供區域來留存內部故障線界定的插栓 16。此外，每

一凹部 110 可選擇性包括通道 112 從凹部底面或底部延伸到支撐基板的相對表面，例如表面 108。通道 112 可流體連通真空源（未圖示），如此可施加真空至凹部，以助於自玻璃基板 10 移除插栓 16。再者，支撐基板 100 可包括附加通道 114 設在凹部 110 外側。附加通道 114 亦可設置流體連通真空源（未圖示），當施加真空至附加通道 114 時，有助於將玻璃基板 10 牢固或固定於支撐基板 100。當玻璃基板 10 自支撐基板 100 移除時，真空可不連續。然在其他實施例中，可以其他固定手段將玻璃基板 10 牢固於支撐基板 100，例如、但不限於夾緊或貼紮、或此領域已知的任何其他適合固定方法。例如，在一些實施例中，支撐基板 100 可靜電保持在適當位置。

【0132】 方法進一步包含利用上述方法，就擬定玻璃物件（例如環形 20）形成故障線，其中脈衝雷射光束用於製造延伸通過玻璃基板厚度 d 的焦線，以沿預定路徑形成一連串缺陷線。例如，參照第 5 圖，產生脈衝雷射光束 118 的雷射 116 用於沿預定路徑製造一連串缺陷線 120 而形成複數個故障線，此以第 6 圖的虛線表示。如前所述，缺陷線 120 彼此相隔約 1 微米至約 20 微米（參見第 7 圖）的距離 p 。故障線與預定路徑重合。

【0133】 在第 5 圖及第 6 圖所示實施例中，故障線包括第一內部圓形故障線 122 與第一內部路徑 12（參見第 1 圖）重合且包含第一半徑，及第二外部圓形故障線 124 與第二外部路徑 14（參見第 1 圖）重合且與內部故障線 122

同心並進一步包括大於第一半徑的第二半徑，內部和外部故障線之間近似環形20。在實施例中，第一半徑為約33毫米至約34毫米範圍內，第二半徑為約9毫米至約11毫米範圍內。在其他實施例中，第一半徑為約47毫米至約48毫米範圍內，第二半徑為約12毫米至約13毫米範圍內，但在進一步實施例中，第一和第二半徑可大於或小於上述距離。

【0134】 複數個故障線可進一步包括釋放線126。釋放線126有助於自母料玻璃基板10移除環形20。例如，一些釋放線可從玻璃基板10的邊緣128a-128d延伸到外部故障線124。在一些實施例中，內部和外部故障線122、124係在形成釋放線126前先形成。在第6圖所示實施例中，釋放線126依約90度接近外部故障線124，但在進一步實施例中，釋放線126依其他角度接近外部故障線124。例如，在一些實施例中，釋放線126依小角度接近外部故障線124，使個別釋放線大致與外部故障線相切。在釋放線大致垂直接近外部故障線的情況下，外部故障線124應在形成接近釋放線前形成。

【0135】 為說明何以故障線形成順序很重要，請細想以下實例。當雷射試圖緊鄰另一缺陷線形成缺陷線時會有交互作用。雷射光束的線焦點能量應一直聚焦通過玻璃基板厚度。然若附近存在缺陷線（通常為數百微米內），則缺陷線將截斷形成線焦點的一些射線錐，缺陷線將散射或使部分雷射能量失焦，以致聚焦至玻璃更深處而形成新缺陷

線（交互作用程度取決於截斷射線錐的立體角）。此可能造成不完整缺陷線通過玻璃基板厚度，在一些情況下可防止缺陷線形成。當分離玻璃零件時，不完整缺陷線或缺少缺陷線可能導致裂痕游移。通常，游移係指「遮蔽」，不僅可能發生在預存缺陷線附近，亦可能在玻璃基板邊緣附近。遮蔽效應很重要的確切接近度取決於許多事情，例如光學元件的數值孔徑、玻璃基板的厚度、所用雷射能量、玻璃組成等。因此，較佳為先完成預定物件的故障線（例如內部和外部故障線 122、124），使遮蔽效應不影響就預定物件形成明確界定故障線的能力。

【0136】一旦形成故障線 122、124 和釋放線 126，即必然產生相交裂痕，裂痕沿故障線接合各缺陷線與相鄰缺陷線，以隔離內部零件。此通常係低殘留應力玻璃基板的情況，例如非強化玻璃基板，例如非離子交換或非熱回火玻璃基板，其中存在殘留應力不足以自我引發裂痕形成。故熱源可用於使裂痕在相鄰缺陷線間綿延，例如紅外熱源，例如紅外雷射（例如 CO_2 或 CO 雷射）。至於前述內部和外部故障線路 122、124，熱源可橫越故障線而於玻璃基板內引發足夠熱應力，使裂痕在缺陷線間龜裂。例如，出自 CO_2 雷射的雷射光束可沿用於形成特定故障線的相同路徑橫越，使雷射光束沿故障線入射，但在進一步實施例中，可使用其他雷射類型。可使玻璃基板與雷射光束相對移動，要不保持玻璃基板固定不動及橫越雷射光束，就是保持雷射光束固定不動及移動玻璃基板，或是移動玻

璃基板和雷射光束，以沿故障線進行雷射加熱。例如，雷射可設置在能朝至少二維度（例如與玻璃基板10平面平行的平面）移動的台架上，但在進一步實施例中，台架亦能朝第三維度移動雷射，亦即垂直於玻璃基板主要表面。在一些實施例中，當有許多待加熱故障線時，使用多個雷射加熱故障線，藉以縮短處理時間。在一些實施例中，採用單一雷射，其中出自單一雷射的雷射光束指向分束頭，分束頭將雷射光束分成複數個可個別控制的雷射光束。分裂雷射光束可縮短處理時間，但也會降低各雷射光束的功率，因而需要單一雷射源輸出更多。在其他實施例中，玻璃基板10放置在加熱烘箱內，以熱衝擊玻璃基板及形成相交裂痕。此亦可縮短處理時間，但會增加處置難度，特別係在大玻璃基板方面。

【0137】 然應注意就像形成故障線和釋放線一樣，應考量裂痕龜裂通過故障線和釋放線（亦即分離）的順序。

【0138】 為說明何以裂痕龜裂順序很重要，請細想第二實例。若裂痕先在釋放線內龜裂，當裂痕抵達相鄰故障線旁的釋放線邊緣時，沒有什麼可以阻擋裂痕。故裂痕可繼續綿延到零件內而產生缺陷零件。

【0139】 第8圖圖示包含環形20的玻璃基板10，如虛線所示，環形界定在第一內部故障線122與第二外部故障線124之間。第一故障線122和第二故障線124均未遭沿相鄰缺陷線間的故障線延伸的裂痕壓實（consolidate）。第7圖進一步圖示四個釋放線

1 2 6 a - 1 2 6 d，其中利用適合熱源，例如紅外雷射光束，驅使裂痕沿故障線 1 2 6 a 龜裂。因此，釋放線 1 2 6 a 以實線表示。當裂痕沿釋放線 1 2 6 a 綿延時，如箭頭 1 2 8 所示，將碰到第二故障線 1 2 4。由於第二故障線 1 2 4 處沒有裂痕，沿釋放線 1 2 6 a 綿延的裂痕可自由延伸超過第二故障線 1 2 4，並在過程中形成裂痕伸入預定零件（亦即環形 2 0），此如裂痕部分 1 3 0 所示。例如讓釋放線終止於離預定零件邊緣更遠處，可減少裂痕。然適合距離取決於諸如玻璃組成、厚度、雷射功率、速度、濕度等因素。故較佳係在裂痕沿釋放線龜裂前，壓實沿界定預定零件的故障線產生的裂痕。在此情況下，此意味著在裂痕沿釋放線 1 2 6 a 龜裂前，驅使裂痕繞著第二故障線 1 2 4 龜裂。

【0 1 4 0】 儘管前述論述主要涉及釋放線與故障線間垂直（或近乎垂直）交叉，如上所述，釋放線亦可正切接近故障線。例如參見第 9 A 圖至第 9 D 圖，第 9 A 圖至第 9 D 圖圖示部分故障線 1 2 4，在此情況下為部分圓形故障線，正切釋放線 1 2 6 與故障線重疊。首先應注意，隨著沿釋放線 1 2 6 綿延的裂痕（以實線 1 3 2 表示）接近故障線，可能發生遮蔽。再者，如第 9 A 圖所示，若沿故障線分離前，裂痕從釋放線開始綿延（分離），則如箭頭 1 3 4 所示，綿延裂痕可從釋放線跳位到故障線及繼續圍繞故障線 1 2 4（如實線 1 3 6 所示）。另一方面，若在釋放線前先分離故障線，則如第 7 B 圖所示，可能發生相反情況，其中如箭頭 1 4 0 所示，綿延裂痕從故障線跳位到釋放線。儘管玻璃 1 4 2 的

附接「狗耳」通常很小且可利用如研磨移除，但需進行更多研磨及需額外檢查。同樣地，裂痕可從故障線跳位到釋放線，如第7C圖所示，此將造成零件不完全分離。若如第7D圖所示，釋放線如在抵達故障線前終止，讓釋放線126的終端與故障線124間存在間隙G，則可減輕切向釋放線相關問題。在第7D圖所示實施例中，沿故障線124進行分離，且無綿延裂痕跳位到任一釋放線126的風險。一旦完成沿故障線124分離，即可沿釋放線126分離。

【0141】更應注意當形成釋放線、而非故障線的缺陷線時，可採用不同雷射條件。例如，更多「積極」雷射條件（例如更大脈衝能量）可用於釋放線，此係因為對故障線邊緣品質的關注較少，故障線界定預定零件的邊緣。

【0142】第10圖係玻璃基板10置於支撐基板100上的截面圖並圖示插栓16。在第10圖中，缺陷線已根據例如、但不限於本文所述方法製造。如圖所示，插栓16設在凹部110上面。

【0143】在缺陷線形成所產生應力不足以透過自我引發分離來隔離插栓16與周圍基板的情況下，可進行選擇性步驟。如第10圖所示，其中熱源，例如產生雷射光束146的紅外雷射144（例如CO₂或CO雷射），用於使雷射光束橫越形成缺陷線時製造的故障線和釋放線，以助於分離。亦即，驅使裂痕沿故障線和釋放線龜裂。

【0144】在一些實施例中，複數個雷射用於縮短製造時間。選擇性步驟例如為當基板10缺少促成自我隔離的必

要中心張力時所需。應強調的是，加熱故障線條在選擇以不發生玻璃基板燒蝕、熔化或汽化的條件下進行。為此，如上所詳述，可令雷射光束 146 散焦，以防止玻璃基板過熱。

【0145】 一旦完成分離及/或隔離，無論藉由自我隔離（高中心張力基板）或加熱故障與釋放線而引發隔離，在後續步驟中，加熱插栓 16。例如，在一些實施例中，採用產生雷射光束 152（如第 11 圖所示）的雷射 150（例如 CO₂ 雷射）。視情況而定，雷射可和先前選擇性分離步驟所用雷射一樣，亦即雷射 146。根據本發明實施例，插栓 16 經加熱以只加熱各插栓的一部分達如等於或高於插栓材料（例如玻璃）的軟化溫度的溫度。可使用多種加熱技術。例如，在一實施例中，雷射光束 152 引導至插栓中心、只加熱插栓中心部分達如等於或高於插栓的軟化溫度的溫度。在另一實施例中，雷射光束 152 沿形狀實質和預定路徑 12 一樣的路徑橫越插栓，路徑 12 界定插栓、但與路徑間隔開。例如，若預定路徑 12 係圓形路徑，則雷射光束 152 可沿與路徑 12 間隔開且在路徑 12 內部的圓形路徑橫越插栓。雷射光束可沿路徑僅橫越一次，或在其他實施例中，雷射光束可橫越路徑多次。在一些實施例中，雷射光束 152 可橫越多個路徑，例如多個不同直徑的圓形路徑，多個路徑彼此隔開。在又一些其他實施例中，雷射光束 152 沿與第一路徑 12 間隔開且在第一路徑 12 內部的螺旋路徑橫越插栓 16。應注意不像使用 CO₂ 雷射加熱故障

線的情況，無論直接橫越故障線或靠近故障線，在本發明情況下，插栓加熱係在離界定插栓的預定輪廓較遠處進行。此外，以前雷射光束為散焦雷射光束，以免插栓過熱，反之在此情況下則期過熱。

【0146】雷射光束橫越可用如檢流計(galvometer)達成，但在進一步實施例中，旋轉三稜鏡用於產生環狀雷射光束，因而在一些實施例中，不需橫越雷射光束。在一些實施例中，雷射光束裝設在台架上，台架能在平行於玻璃基板的平面上朝至少二維度移動。在進一步實施例中，台架能三維移動及包括垂直於玻璃基板平面移動。在其他實施例中，移動基板並使雷射組件保持固定不動，以提供相對移動。

【0147】儘管不期侷限於理論，據信加熱插栓16會導致插栓變形，例如受本身重量作用致使插栓坍塌。因此，一旦完成插栓16加熱，便可讓插栓冷卻夠久的時間，使插栓自玻璃基板脫落。適合冷卻時間通常為約10秒至40秒範圍內，例如約20秒至約40秒範圍內，例如約25秒至約35秒範圍內。或信插栓加熱會造成插栓些微坍塌，冷卻會使插栓16收縮，從而在插栓與周圍玻璃基板間產生足夠間隙，以助於移除插栓。在此情況下，插栓「頂」表面（加熱插栓表面，例如加熱雷射光束衝擊的表面）的插栓直徑在加熱及隨後冷卻後為小於頂表面在加熱前的直徑。此外，底表面（相對加熱表面）的直徑在加熱及隨後冷卻後亦小於底表面在加熱前的直徑。二直徑（頂部與底

部)相差一個量級。在本發明實施例中，頂表面和底表面的直徑為相等或實質相等(在量測精度內)。然在加熱及隨後冷卻插栓中心區域後，插栓上表面的直徑小於插栓下表面的直徑。可在加熱後強迫(主動)冷卻插栓，但通常不需要，在一些情況下可能產生不均勻冷卻，因加熱及冷卻應均勻，以防止不對稱應力和不均勻形狀，即期在插栓周圍形成一致的間隙，以免插栓與周圍基板接觸而造成破片。實際上發現在大多數情況下，被動冷卻後，插頭通常可藉由本身重量自基板脫落，而不需額外施力。

【0148】 在第12圖所示選擇性步驟中，若有需要，可施加真空至通道104，如箭頭160所示，以減低凹部110內的壓力。如此，箭頭162所示插栓16上方的空氣壓力有助於插栓16自玻璃基板10抽出及進入凹部102。或者，機械力可施加於插栓16，例如利用推桿或管。

【0149】 自玻璃基板10移除插栓16後，可移除基板10的其他零件，包括釋放線126接合的周邊(廢料)切片，以便移除環形20。

【0150】 本文所述製程可用於從單一基板快速製造多個物件，例如多個環形。物件可緊密設置在基板上，以最大化材料利用率。例如，第13圖圖示如何以六方最密堆積來最大化玻璃基板10的利用率。在一些實施例中，堆疊基板，其中彼此疊置的多個基板可具有同時在堆疊基板中產生的缺陷線，只要焦線夠長。然同時在多個基板中形成缺陷線仍需沿缺陷線雷射依循路徑加熱，促使裂痕如在

未受應力的單一基板中綿延。故多個基板可包括將堆疊基板分離成單一基板的附加步驟，以進行後續加熱步驟。

【0151】 在其他實施例中，採行其他方法來移除插栓16。更大體而言，插栓16的外徑與環形20的內徑間間隙應依據以下方程式增加：

$$D_{\text{初始}} > \sqrt{(D_{\text{最終}}^2 + P_{\text{厚度}}^2)}, \quad (1)$$

【0152】 其中 $D_{\text{初始}}$ 代表插栓16的初始直徑， $D_{\text{最終}}$ 代表插栓的最終直徑， $P_{\text{厚度}}$ 係插栓的厚度（應相當於玻璃基板的厚度 T_h ）。換言之，當從插栓上緣延伸到插栓下緣的最大對角線長度小於插栓的初始直徑時，對角線係在和插栓直徑一樣的平面（該平面垂直於插栓的主要表面，插栓的直徑位於同一平面），插栓將自玻璃基板脫落。例如，就初始直徑 $D_{\text{初始}}$ 2.5 毫米、厚度 $P_{\text{厚度}}$ 0.7 毫米的插栓而言，插栓所需收縮量為大於 392 ppm。除了先前所述插栓變形外，亦有其他減小插栓最終直徑或圍繞玻璃（例如環形20）內徑的方法。方法可包括主動冷卻插栓。在此情況下，不加熱插栓中心部分、再冷卻或被動冷卻插栓，而是主動快速冷卻插栓，例如藉由將液態氮的噴霧或流或類似流體引導至插栓，促使插栓收縮及在插栓與周圍材料間形成夠大的間隙供插栓移除，又不會破壞周圍材料。在其他實施例中，例如在烘箱中加熱整個玻璃基板（包括隔離零件），隨後冷卻插栓。例如，玻璃基板可加熱達適當高溫，例如基於約 3.5 ppm 的 CTE 為約 112 °C，隨後再次使用液態氮或其他夠冷流體，使插栓冷卻至約 0 °C。

【0153】 本文所述方法提供以下好處，此可轉譯成加強雷射處理能力及節省成本，從而降低製造成本。本文所述切割製程提供待切割內部輪廓完全分離（隔離）。本文所述方法能在玻璃零件經化學強化前或後，以乾淨、可控制方式從母料基板完全移除可離子交換玻璃（例如 Gorilla® 玻璃、Corning 玻璃編號 2318、2319、2320 等）中的插栓，玻璃可依融合抽拉製程或其他玻璃形成製程製造。本文所述方法亦提供減少的次表面缺陷和優異的邊緣品質。由於雷射與材料間的超短脈衝交互作用，幾乎沒有熱交互作用，是以故障線外產生不當應力和微裂痕的熱作用區域最小。此外，將雷射光束聚集至玻璃的光學元件所形成的缺陷線於零件表面的直徑通常為約 2 微米至約 5 微米範圍內。缺陷線可週期性間隔，其中間距可為約 1 微米至約 50 微米範圍內，例如約 1 微米至約 20 微米範圍內，例如約 5 微米至約 15 微米範圍內。移除零件後，次表面破壞通常小於約 75 微米，且可依需求調整成小於約 25 微米。分離表面（或切割邊緣）的粗糙度可由焦線的光點尺寸或點徑控制。分離（切割）邊緣表面的粗糙度例如為約 0.1 至約 1 微米範圍內或例如約 0.25 至約 1 微米範圍內，且可以如 Ra 表面粗糙度統計（樣品表面高度的絕對值的算術平均，包括焦線點徑產生的凸塊高度）特性化。此製程產生的表面粗糙度通常小於約 0.5 微米（Ra），並可小至 0.1 微米（Ra），然意外發現邊緣表面粗糙度和邊緣強度僅有一點點相關。此外，若諸如研磨及拋光等機械

精整製程隨後用於修改邊緣形狀，則具較少次表面破壞的部份需移除的材料量將更少。此可減少或免除精整步驟及降低零件成本。本文所述插栓釋放製程充分善用線焦點皮秒雷射切割製程形成的高品質邊緣，而以沿故障線乾淨釋放玻璃的方式完成內部玻璃材料移除，並且在預定零件邊緣造成很少或無燒蝕損壞、微裂痕或其他缺陷。

【0154】 不像使用聚焦雷射沿給定路徑單純燒蝕材料的製程，本文所述雷射製程可以單一掃程製造故障線。本文所述皮秒雷射製程可以約50毫米/秒至約3000毫米/秒範圍內的速度形成故障線，此視涉及平臺的加速能力而定。此與燒蝕鑽孔（*ablative drilling*）法大不相同，其中材料係「逐層」移除，每雷射光束位置需要許多掃程或長停留時間。

【0155】 本文所述方法能以乾淨、可控制方式切割及分離玻璃或其他透明易碎材料。使用習知燒蝕或熱雷射製程非常具挑戰性，因為該等製程易觸發熱作用區域而引發微裂痕及使玻璃碎成數個小碎片。雷射脈衝特性及與所揭示方法的材料誘發交互作用可避免此等問題，因為缺陷形成係在很短的時間標度內發生，材料可讓用於形成缺陷線的雷射光束穿透可最小化引發熱作用。由於缺陷線形成於基板內，故實際上在切割步驟期間可消除碎屑和附著顆粒的存在。若有任何形成缺陷線產生的顆粒，則零件分離前皆能妥善包容在內。

【0156】 本文所述方法能依循許多形式和形狀來切割及分離玻璃和其他基板，此乃其他競爭技術的局限。可切割小半徑（例如小於約2毫米）以形成小孔和狹槽（例如手機應用的揚聲器及/或麥克風所需）。

【0157】 在一些實施例中，堆疊複數個基板，例如兩個基板、三個基板或更多基板，其中雷射光束焦線延伸通過基板堆疊的各基板而形成複數個缺陷線，缺陷線延伸通過基板堆疊的各基板。

【0158】 從進料玻璃面板製造成最終尺寸與形狀玻璃板的製程涉及數個步驟，包含切割面板、按尺寸切割、精整及邊緣塑形、將零件薄化成目標厚度、拋光，在一些情況下甚至要化學強化。免除任一步驟就處理時間和資本支出而論皆能改善製造成本。本文所述方法可減少步驟數量，例如減少碎屑和邊緣缺陷產生可免除洗滌與乾燥站，將樣品直接切割成最終尺寸、形狀和厚度可不需精整線。

【0159】 因此，根據一些實施例，玻璃物件具有至少一內部輪廓且複數個缺陷線（或部分缺陷線）垂直於玻璃片刻面延伸至少250微米，各缺陷線的直徑為小於或等於約5微米。在一些實施例中，玻璃物件包含延伸整個基板厚度的缺陷線。缺陷線間隔距離例如為小於或等於約7微米。在一些實施例中，內部輪廓邊緣界定的內部輪廓最小尺度或寬度為小於約5毫米，例如寬度（或直徑）為0.1毫米至3毫米，例如約0.5毫米至約2毫米範圍內，但在進一步實施例中，內部輪廓邊緣具較大尺度，例如直徑為約

10 毫米至約 100 毫米範圍內，例如約 20 毫米至約 50 毫米範圍內。根據一些實施例，玻璃物件包含離子交換後玻璃。根據一些實施例，缺陷線延伸至少一內部輪廓邊緣的整個厚度。根據至少一些實施例，至少一邊緣表面在自基板 10 移除零件後具有小於約 0.5 微米的 R_a 表面粗糙度。根據至少一些實施例，至少一邊緣的次表面破壞深度高達小於或等於約 75 微米。

【0160】 前述製程產生一致的邊緣。依 4 點彎曲測試量測，此將使邊緣強度具有緊密分布。就非化學強化玻璃而言，例如 Corning Eagle XG®，所得邊緣強度可具大於約 90 兆帕的平均值，標準差通常小於約 15 兆帕。另外，由於缺陷線通常對稱通過基板全體，無論零件的頂或底表面在強度測試期間是否受到張力，邊緣強度通常接近相等（10% 以內）。從一主要表面到相對主要表面的強度分布間差異（取決於彎曲方向）為小於平均強度分布的 10%。沿內外邊緣表面的整個周長檢查 500 微米寬的區域評估側向廣度，邊緣表面未顯現尺寸大於約 50 微米的破片。

【0161】 如第 14 圖所示，前述製程製造的物件展現低翹曲。第 14 圖圖示取自遍及融合抽拉玻璃基板的不同側向點的 95 毫米外徑環形（內徑 26 毫米）的翹曲量（平坦度）資料。自 100×100 毫米的基板片段切割環形，及在雷射切割成環形前量測平坦度（第 14 A 圖）。雷射切割成環形後，重新量測各圓盤的平坦度（第 14 B 圖）。第 14 B

圖的資料指出各最終環形的平坦度隨融合抽拉片的原始空間位置變化。此等資料指出雷射切割環形維持平坦度為等於或小於約15微米。比較原始平坦度資料亦指出各環形的平坦度與100×100毫米切割方形的平坦度十分相符。本文所揭示方法製造的物件具有等於或小於約10微米的總厚度變化(最大與最小厚度間的差異)。平坦度(翹曲量)係利用取自Nikon®的NEXIV VMR 3020座標量測系統量測,及採用Digital Surf的Mountains Map®分析軟體。

【0162】 前述製程製造的物件可包含等於或小於約5兆帕的內部殘留應力,在一些實施例中為等於或小於約0.5兆帕的殘留應力。

【0163】 本文所揭示方法製造的環形可具有等於或小於約15微米的同心度(依環形內外圍的中心間距評估),例如約0微米至約12微米範圍內、約0微米至約10微米範圍內、約0微米至約5微米範圍內,在一些實施例中為約2微米至約6微米範圍內。環形的外徑可為標稱直徑的±12微米以內。同心度係利用取自Nikon®的NEXIV VMR 3020座標量測系統量測,及採用Digital Surf的Mountains Map®分析軟體。

【0164】 在物件係硬碟用碟片的情況下,物件例如經額外處理。例如,物件的邊緣表面可研磨及/或拋光成驅動機製造商的規格。環形邊緣另可削成斜面。在一些實施例中,玻璃基板的主要表面40、42經研磨及/或拋光。在此

情況下，自周圍基板移除物件後，總計不超過約 0.1 mm 的玻璃需自玻璃物件的主要表面移除。此外，如硬碟碟片所常見，可塗佈環形。例如，環形可塗覆磁性媒體塗層。

【0165】 在一些實施例中，期離子交換玻璃基板。在此情況下，離子交換製程較佳係在切割製程前進行。

實例

【0166】 把 0.7 mm 厚的 Corning Lotus NXT 玻璃基板置於聚合物支撐基板上，支撐基板包含複數個凹部，各凹部的直徑為 30 毫米、深度為 2 毫米。利用聚合物基板中一連串的穿孔及施加真空至穿孔，使基板保持在適當位置。利用以 29 瓦操作的同調超快皮秒雷射沿複數個第一圓形路徑和與第一封閉路徑同心的複數個第二圓形路徑形成複數個缺陷，脈寬為約 9 皮秒，脈衝頻率為 100 千赫，並以每衝串有 5 個脈衝的叢發模式操作。線焦點直徑為約 2 微米（FWHM），長度為 1.2 毫米。雷射以 12 公尺/分鐘的速度橫越，以沿各個第一和第二封閉路徑製造間隔 4 微米的缺陷線。第一封閉路徑的半徑為 25 毫米，第二封閉路徑的半徑為 95 毫米。第一和第二封閉路徑界定複數個環形。複數個第一封閉路徑界定複數個插栓。

【0167】 完成缺陷形成階段後，即使用以 170 瓦操作且於玻璃表面散焦成 7 毫米光束直徑的 200 瓦 Synrad CW 雷射來追蹤第一和第二封閉路徑，其中雷射光束以約 12 公尺/分鐘橫越，以沿具裂痕的各個第一和第二路徑連接

缺陷線，從而隔離環形與玻璃基板和插栓與第二圓形路徑界定的圓盤。

【0168】 接著使用以200瓦操作並調整於玻璃表面產生6毫米直徑散焦雷射光束的相同Synrad CW CO₂雷射來加熱插栓。此雷射光束在約4秒內描繪直徑10毫米的圓形軌跡四次。讓插栓被動冷卻（無主動冷卻），隨之在開始冷卻（停止加熱）後約25秒內，插栓自玻璃圓盤脫落。

【0169】 儘管本發明已以示例性實施例揭示如上，然應理解熟諳此技術者在不脫離本發明範疇內當可改變形式與細節，因此本發明的保護範圍視後附申請專利範圍所界定者為準。

【符號說明】

【0170】

10 玻璃基板

12、14、22 路徑

16 插栓

18 圓盤

20 環形

30 雷射光束

34 焦線

36 旋轉三稜鏡

37 準直透鏡

38 聚焦透鏡

40、42 主要表面

1 0 0 支撐基板

1 0 4 通道

1 0 6 、 1 0 8 主要表面

1 1 0 凹部

1 1 2 、 1 1 4 通道

1 1 6 雷射

1 1 8 雷射光束

1 2 0 缺陷線

1 2 2 、 1 2 4 故障線

1 2 6 、 1 2 6 a - d 釋放線

1 2 8 箭頭

1 2 8 a - d 邊緣

1 3 0 裂痕部分

1 3 2 、 1 3 6 實線

1 3 4 、 1 4 0 箭頭

1 4 2 玻璃

1 4 4 、 1 5 0 雷射

1 4 6 、 1 5 2 雷射光束

1 6 0 、 1 6 2 箭頭

d 厚度

r 1 、 r 2 半徑

T h 厚度

【生物材料寄存】

【 0 1 7 1 】 國內寄存資訊 (請依寄存機構、日期、號碼順序註記)

無

【 0 1 7 2 】 國外寄存資訊 (請依寄存國家、機構、日期、號碼順序註記)

無

【發明申請專利範圍】

【第1項】 一種從一基板切割一物件的方法，該方法包含以下步驟：

使一脈衝雷射光束聚焦成一雷射光束焦線；

沿一第一預定路徑，將該雷射光束焦線引導至該基板的複數個第一位置，該雷射光束焦線在該基板內產生一誘發吸收而在該基板內沿該雷射光束焦線於該複數個第一位置的每一位置製造一缺陷線，其中該第一預定路徑係一封閉路徑；

沿該第一預定路徑加熱該基板，使一裂痕綿延通過該複數個第一位置的各缺陷線，以形成沿該第一預定路徑完全地延伸通過該基板之開裂，從而完全地隔離一內部插栓與該基板；

在隔離之後，加熱該內部插栓，使得該內部插栓的至少一部分被加熱至等於或高於該基板的軟化溫度之一溫度；以及

在加熱之後，使該內部插栓冷卻，以自該基板移除該內部插栓。

【第2項】 如請求項 1 所述之方法，進一步包含以下步驟：沿一第二預定路徑，將該雷射光束焦線引導至該基板的複數個第二位置，該第二預定路徑不與該第一預定路徑相交，該雷射光束焦線在該基板內產生一誘

發吸收而在該基板內沿該雷射光束焦線於該複數個第二位置的每一位置製造一缺陷線。

【第3項】如請求項2所述之方法，進一步包含以下步驟：沿該第二預定路徑加熱該基板，使一裂痕綿延通過該複數個第二位置的各缺陷線。

【第4項】如請求項2所述之方法，其中該第一預定路徑係一圓形路徑，該第二預定路徑係與該第一預定路徑同心的一圓形路徑。

【第5項】如請求項1所述之方法，其中沿該第一預定路徑加熱該基板之步驟包含以下步驟：使一第二雷射光束橫越該第一預定路徑。

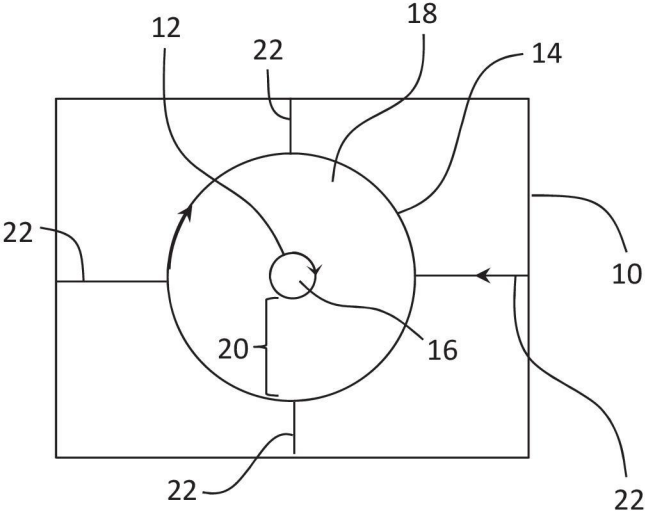
【第6項】如請求項1所述之方法，其中該插栓在加熱該插栓期間變形。

【第7項】如請求項1所述之方法，其中該加熱該插栓之步驟僅加熱該插栓的一中心區域。

【第8項】如請求項1所述之方法，其中該內部插栓在冷卻後即自該基板脫落，而不需對該內部插栓施加一機械外力。

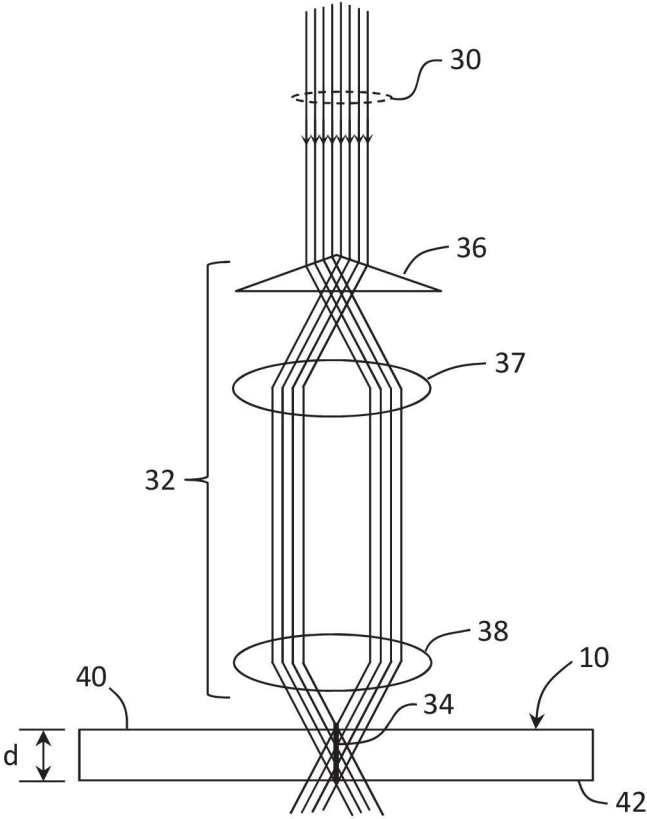
【第9項】一種玻璃物件，係由如請求項1至8中任一項所述之方法製作。

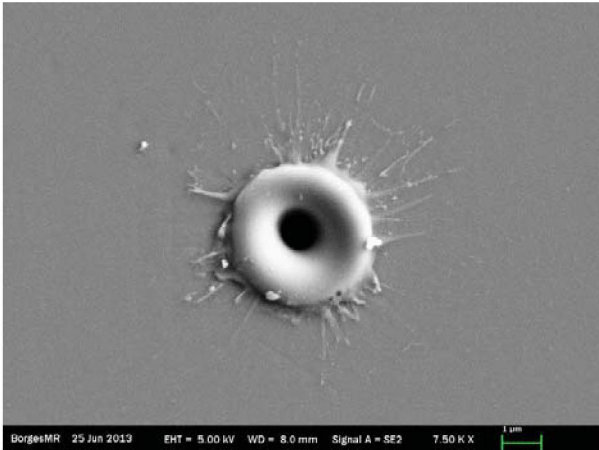
【發明圖式】



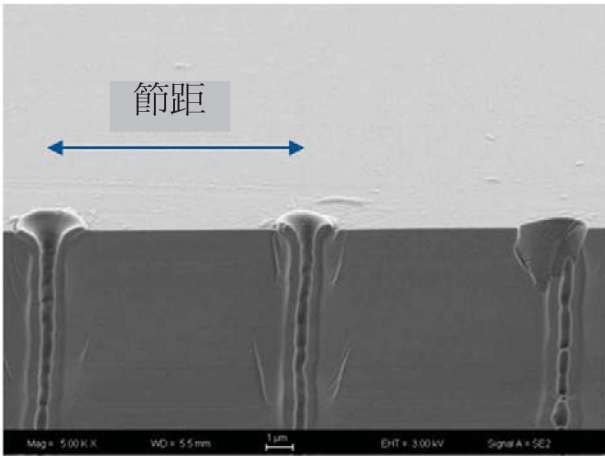
第1圖

第2圖

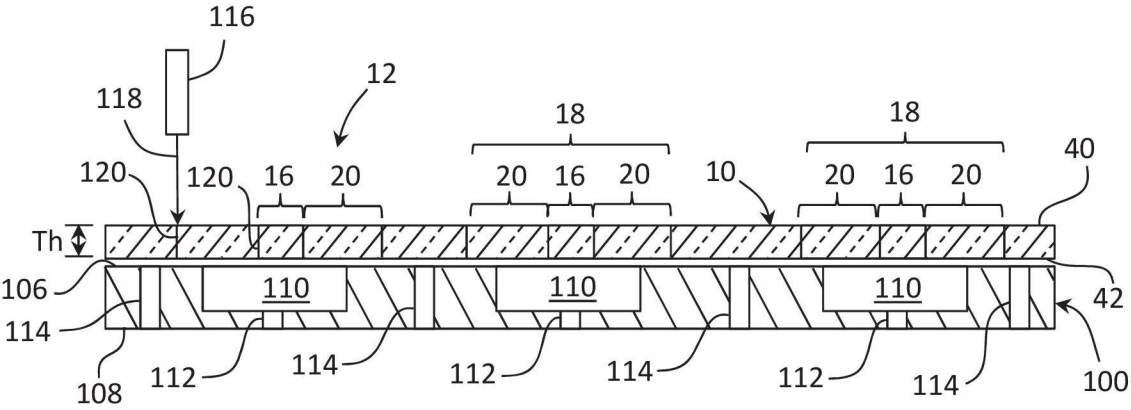




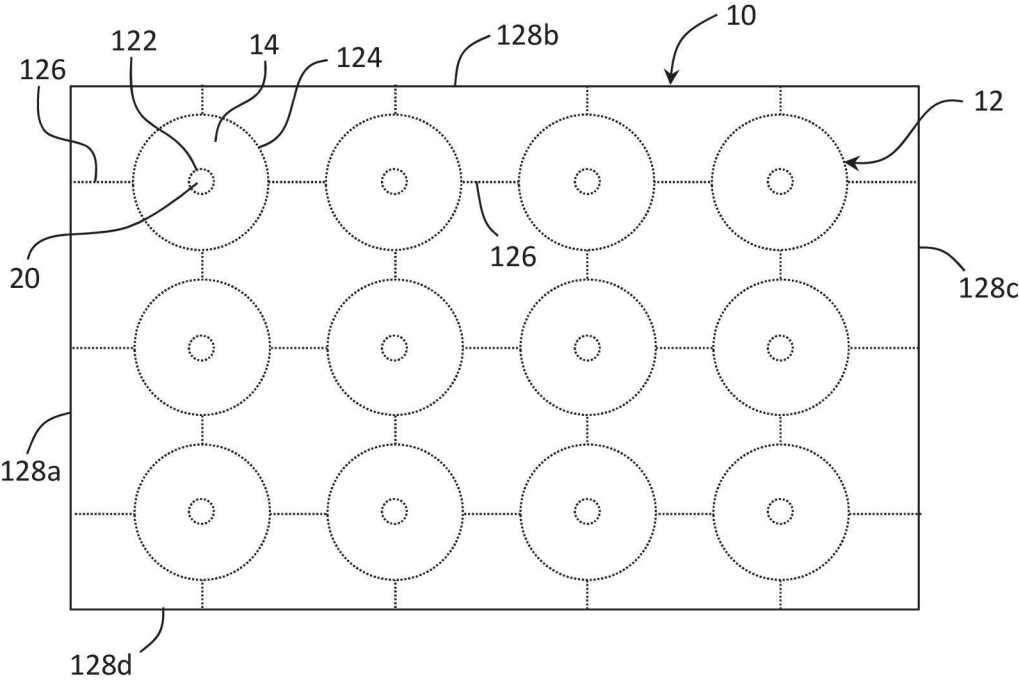
第3圖



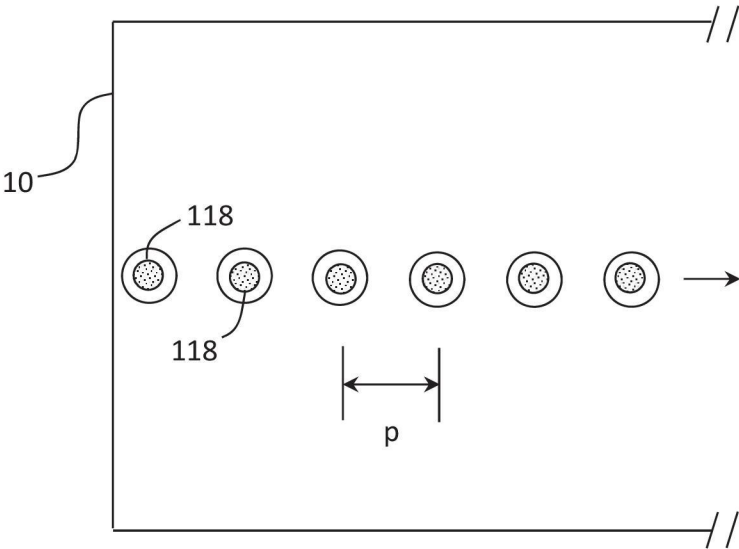
第4圖



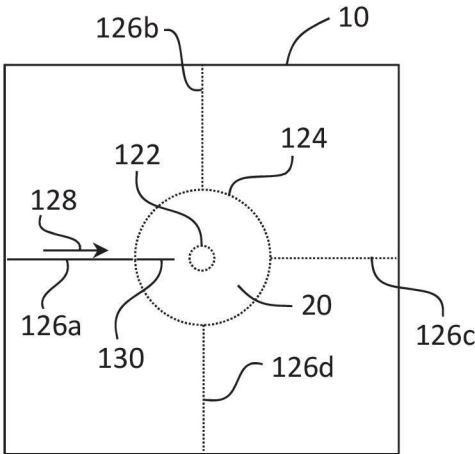
第5圖



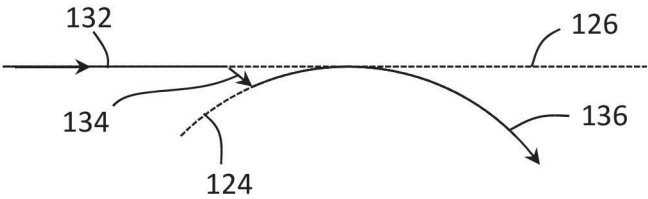
第6圖



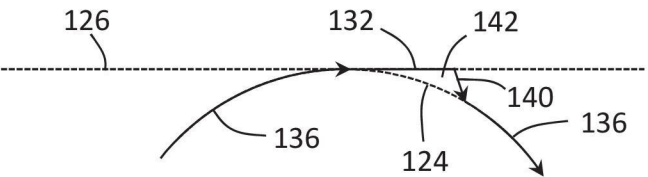
第7圖



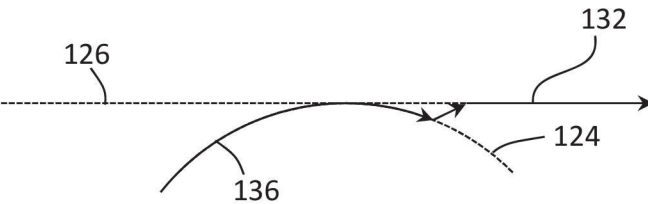
第8圖



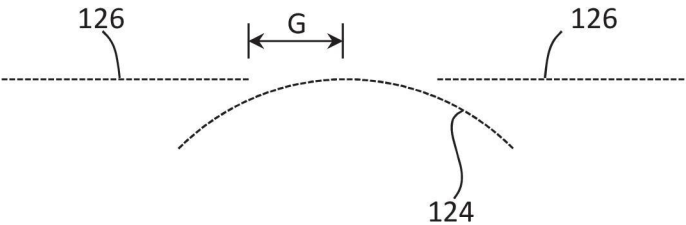
第9A圖



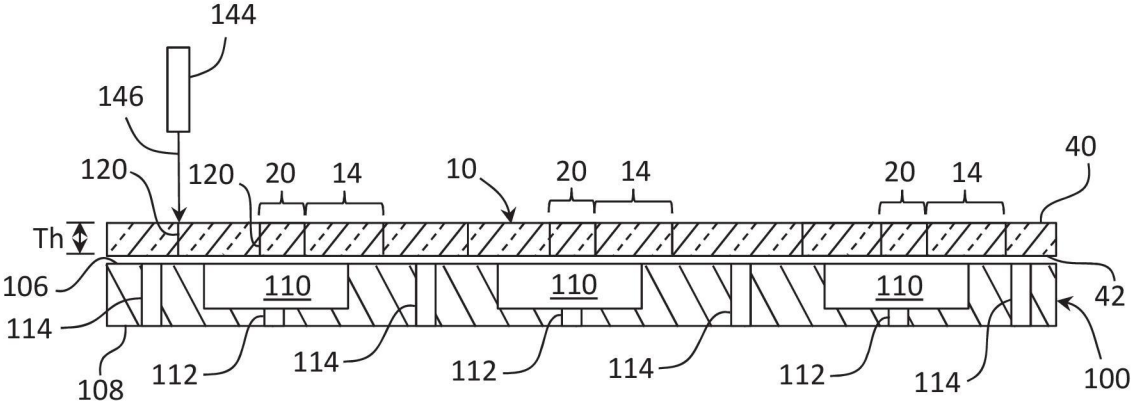
第9B圖



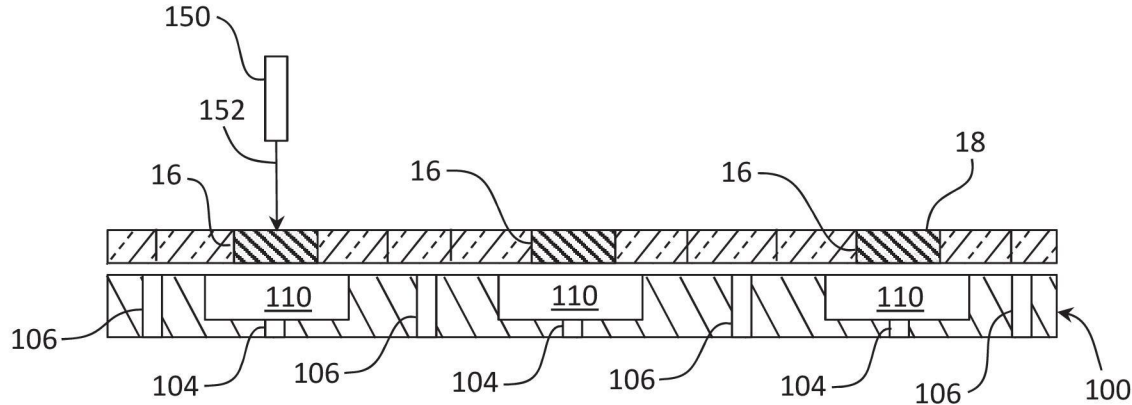
第9C圖



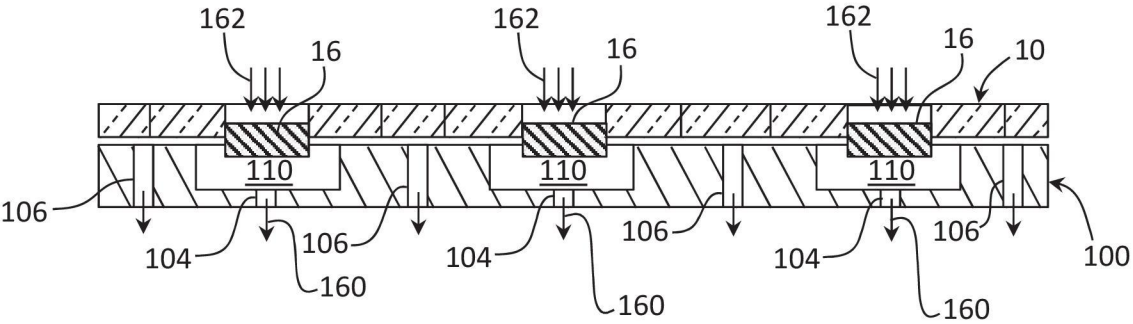
第9D圖



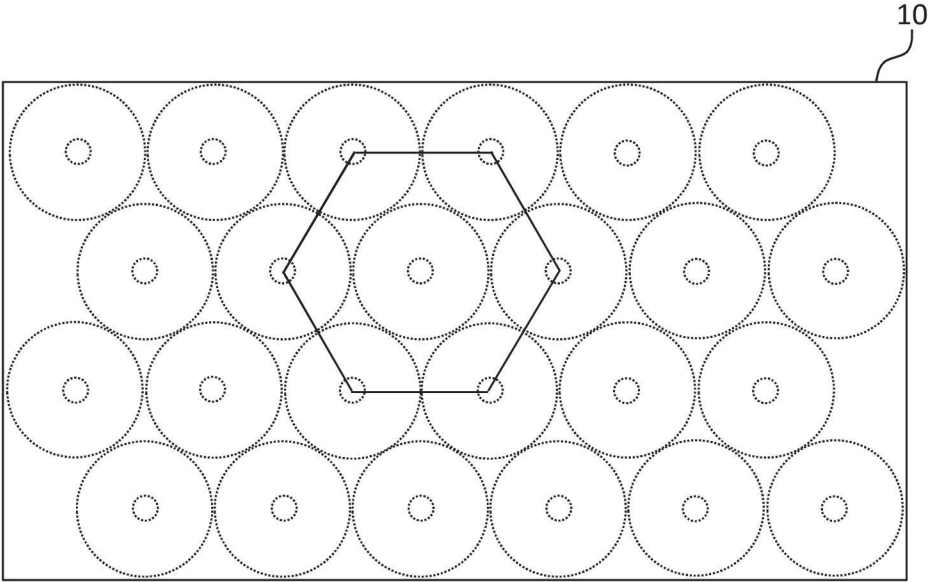
第10圖



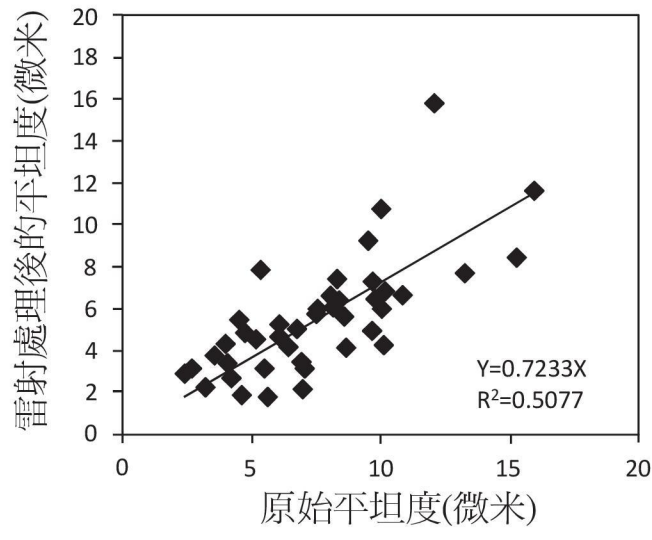
第11圖



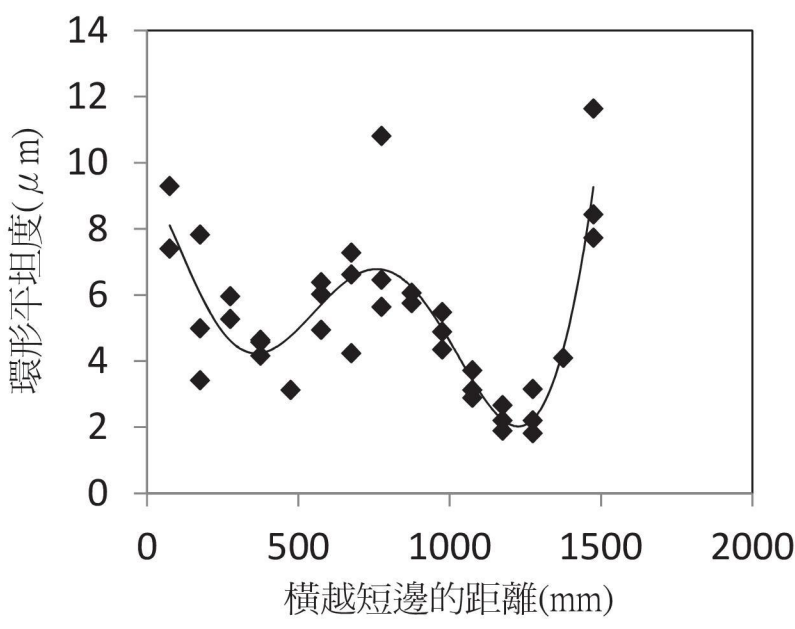
第12圖



第13圖



第14A圖



第14B圖