



(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 I673128 B

(45)公告日：中華民國 108 (2019) 年 10 月 01 日

(21)申請案號：104102741

(22)申請日：中華民國 104 (2015) 年 01 月 27 日

(51)Int. Cl. : **B23K26/361 (2014.01)****B23K26/70 (2014.01)****C03B33/09 (2006.01)****C03B33/02 (2006.01)**

(30)優先權：2014/01/27 美國

61/932,030

2014/07/10 美國

62/022,885

2014/10/31 美國

14/530,410

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

美國

(72)發明人：班可蒂斯喬那斯 BANKAITIS, JONAS (US)；烏立格凱文威廉 UHLIG, KEVIN

WILLIAM (US)

(74)代理人：蔡坤財；李世章

(56)參考文獻：

CN 1573364A

JP 2001-259978A

JP 2008-18547A

US 2012/0196071A1

US 2013/0126573A1

US 2013/0224439A1

審查人員：鄭廷仰

申請專利範圍項數：10 項 圖式數：20 共 97 頁

(54)名稱

藉由機械處理雷射切割玻璃的邊緣去角及/或切斜之玻璃物件及方法

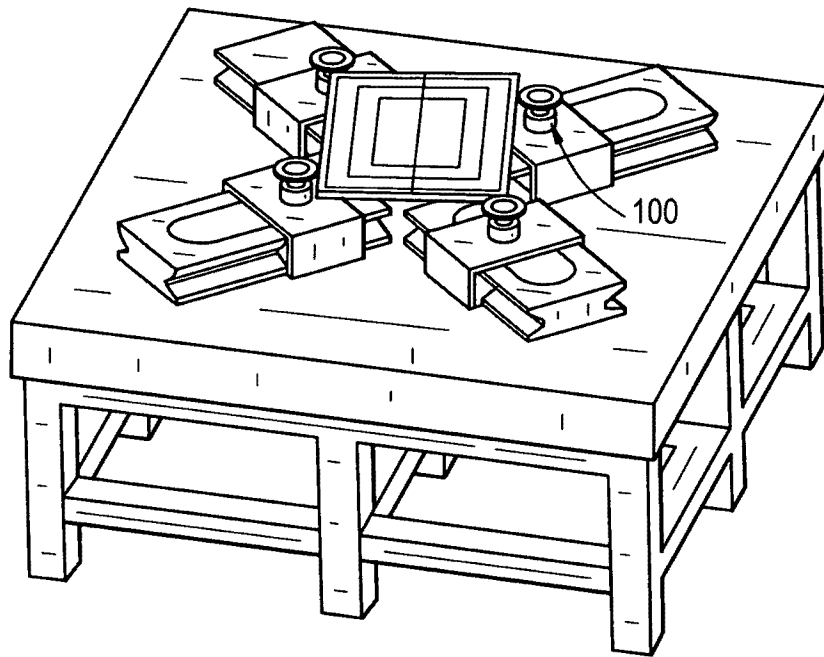
(57)摘要

本文描述使用雷射將任意形狀之玻璃基板之邊緣去角及/或斜角的製程。用以在玻璃基板上產生去角之兩種一般方法為：涉及利用超短脈衝雷射切割具有所要去角形狀之邊緣的第一方法；接著利用順應拋光輪之機械拋光。

Processes of chamfering and/or beveling an edge of a glass substrate of arbitrary shape using lasers are described herein. Two general methods to produce chamfers on glass substrates are the first method involves cutting the edge with the desired chamfer shape utilizing an ultra-short pulse laser that is followed by mechanical polishing with a compliant polishing wheel.

指定代表圖：

第14圖



符號簡單說明：

100 . . . 順應固定磨
輪/拋光輪/精整輪/輪/
順應輪/順應磨輪/輪/
拋光輪

能需要注意的邊緣。存在許多用以切割及分離玻璃之不同方法。例如，玻璃可使用電磁輻射(雷射、放電、磁旋管等等)機械地(CNC 機械加工、磨料噴水、劃線及破裂等等)切割。較為傳統及普通之方法(利用 CNC 機械加工劃線及破裂)產生由不同類型及大小之缺陷填充的邊緣。亦常發現邊緣並不完全地垂直於表面。為消除缺陷且給予邊緣具有改良強度之較為平整表面，通常首先將該等邊緣研磨，且隨後藉由拋光輪之累進(progression)加以拋光，因此需要多個步驟。此製程涉及邊緣材料之磨料移除，其可給予邊緣材料所要的精整，且亦將其外形(外圓角形狀、去角形狀、筆形形狀等等)成形。為允許研磨及隨後的拋光步驟，有必要切割大於最終所要尺寸之部分。

【0005】 雖然熟知且理解消除缺陷將增加邊緣強度，但就形狀對邊緣強度之影響而言沒有一致意見。困擾的出現主要是因為熟知形狀有助於增加對邊緣之衝擊及處置的防破壞性。事實是：邊緣形狀實際上不決定邊緣強度，如藉由對撓曲(或彎曲)力之抵抗力所定義，但缺陷大小及分佈的確具有很大影響。然而，成形邊緣的確有助於藉由產生較小橫截面並容納缺陷來改良衝擊抗力。例如，具有垂直於兩個表面的筆直面之邊緣在此等直角轉角處累積應力，該等轉角將在受另一物體衝擊時碎裂並破裂。由於累積應力，缺陷之大小可為相當大的，從而將顯著地減小彼邊緣之強度。另一方面，由於其較為平滑的形狀，圓形「外圓角」成形邊緣將具有較低累積應力及較小橫截面，從而有助於減小缺陷之大小並減少缺陷

於邊緣體積中之穿透。因此，在衝擊之後，成形邊緣應具有比平坦邊緣更高的「彎曲」強度。

【0006】 由於以上論述的原因，常常需要使邊緣成形為與平坦且垂直於表面相反之情況。此等機械切割及邊緣成形方法之一個重要態樣為機器之維持程度。對切割及研磨兩者而言，舊的及磨損的切割頭或研磨輥可造成破壞，該破壞可顯著地影響邊緣之強度，即使肉眼無法看出差異亦如此。需要機械切割、接著機械研磨及後續機械多拋光步驟之機械加工方法的其他問題在於：該等方法為極其勞動密集的，且需要許多研磨及拋光步驟直至最終所要精整度，該等步驟產生大量碎屑且需要清潔步驟來避免引入對表面之破壞。

【0007】 如藉由任何切割製程引起的小微裂紋及材料改質(諸如櫛梳(hackle)及側向檢查)所表明的表面下破壞為關注點，因為其減小脆性材料、尤其玻璃之邊緣強度。機械及剝蝕雷射製程就此而言為尤其有問題的，因為此等製程可致使層之表面下破壞在約 100-200 μm 或更大深度範圍變化。利用習知處理產生的邊緣典型地需要顯著量的切割後研磨及拋光來移除表面下破壞層。

【發明內容】

【0008】 本文所述的實施例係關於使用雷射結合機械拋光處理來將任意形狀之玻璃基板之邊緣去角及/或斜切的製程。

【0009】 本揭示內容之一個實施例係關於用於產生去角或斜角之方法，該方法包含：

沿射束傳播方向觀察，將脈衝雷射束聚焦成雷射束焦線；

將該雷射束焦線以對材料之第一入射角導向至材料中，該雷射束焦線於該材料內產生誘導吸收，該誘導吸收於該材料內產生沿該雷射束焦線之缺陷線；

將該材料及該雷射束相對於彼此平移，進而沿第一平面以第一角度於該材料內雷射鑽鑿複數個缺陷線；

將雷射束焦線以對該材料之第二入射角導向至該材料中，該雷射束焦線於該材料內產生誘導吸收，該誘導吸收於該材料內產生沿該雷射束焦線之缺陷線；

將該材料及該雷射束相對於彼此平移，進而沿第二平面以第二角度於該材料內雷射鑽鑿複數個缺陷線，該第二平面與該第一平面相交，

將該材料沿該第一平面及該第二平面分離且產生該雷射切割材料；以及

藉由順應輪拋光雷射切割材料。

【0010】 本揭示內容之一個實施例係關於用於產生去角或斜角工件之方法，該方法包含：

沿射束傳播方向觀察，將脈衝雷射束聚焦成雷射束焦線；

將該雷射束焦線以對該工件之入射角導向至該工件中，該角度與該工件之邊緣相交，該雷射束焦線於該工件內產生誘導吸收，該誘導吸收於該工件內產生沿該雷射束焦線之缺陷線；

將該工件及該雷射束相對於彼此平移，進而沿一平面以該角度於該工件內雷射鑽鑿複數個缺陷線；以及

將該工件沿該平面分離以產生雷射切割工件；以及藉由具有 0.1 GPa 至 5 GPa 之容積彈性模數的順應拋光輪拋光雷射切割工件。

根據一些實施例，利用拋光輪執行對雷射切割工件之切割表面的拋光歷時時間 t ，其中 $1 \text{ sec} < t < 1 \text{ min}$ ，例如 5 sec 至 30 sec。

【0011】 因此，本揭示內容之一個實施例係關於用於產生去角或斜角工件之方法，該方法包含：

沿射束傳播方向觀察，將脈衝雷射束聚焦成雷射束焦線；

將該雷射束焦線以對該工件之入射角導向至該工件中，該角度與該工件之邊緣相交，該雷射束焦線於該工件內產生誘導吸收，該誘導吸收於該工件內產生沿該雷射束焦線之缺陷線；

將該工件及該雷射束相對於彼此平移，進而沿一平面以該角度於該工件內雷射鑽鑿複數個缺陷線；以及

將該工件沿該平面分離以產生具有切割表面之雷射切割工件；以及

利用拋光輪拋光該雷射切割工件之該切割表面歷時時間 t ，其中 $1 \text{ sec} < t < 1 \text{ min}$ ，其中該拋光輪具有 0.1 GPa 至 5 GPa 之容積彈性模數。

【0012】 根據一些實施例，雷射切割表面工件受極其快速地拋光，亦即，切割表面之總邊緣精整步驟，亦即，總拋光時間拋光時間 t 為： $1 \text{ sec} < t < 1 \text{ min}$ 。根據一些實施例， $t \leq 30 \text{ sec}$ ，且在一些實施例中，工件藉由雷射切割的全部外部邊緣在 ≤ 10

sec 內得以精整。

【0013】 根據一些實施例，雷射為具有在大於約 5 皮秒與小於約 20 皮秒之間的範圍內之脈衝持續時間的爆發脈衝雷射，爆發重複率在約 1 kHz 與 2 MHz 之間的範圍內，且每次爆發 2-25 個脈衝。根據一些實施例，爆發脈衝雷射之雷射功率為 10 W-100 W。

【0014】 其他特徵及優點將在以下的詳細描述中闡述，且在部分程度上，熟習此項技術者將根據該描述而容易明白該等特徵及優點，或藉由實踐本書面描述及其申請專利範圍以及隨附圖式所述的實施例來認識該等特徵及優點。

【0015】 應理解，前述的一般描述及以下詳細描述僅僅為示範性的，且意欲提供用於理解申請專利範圍之性質及特徵的概述或框架。

【0016】 包括隨附圖式來提供進一步理解，且將隨附圖式併入本說明書中且構成本說明書之一部分。圖式例示一或多個實施例，且連同說明書一起用以解釋各種實施例之原理及操作

【圖式簡單說明】

【0017】 專利或申請檔案含有以彩色實施至少一個圖式。此專利或專利申請公開案的帶有彩色圖式之複本將在提出請求並支付必要費用後由官方提供。

【0018】 前述內容將自本揭示內容之示例性實施例之以下更特定描述而明顯，該等示例性實施例如隨附圖式中所例示，其中相同參考符號在整個不同視圖中指代相同部分。圖式未

必按比例繪製，而重點是關注對本揭示內容之實施例的例示。

【0019】 第 1A-1C 圖為改質玻璃之具有相等間隔缺陷線的疵點線之圖解。

【0020】 第 2A 及 2B 圖為雷射束焦線之定位之圖解，亦即，由於沿焦線的誘導吸收處理對雷射波長透明之材料。

【0021】 第 3A 圖為用於雷射鑽鑿之光學總成的圖解。

【0022】 第 3B1 至 3B4 圖為藉由將雷射束焦線相對於基板進行不同定位來處理基板之各種可能性之圖解。

【0023】 第 4 圖為用於雷射鑽鑿之第二光學總成的圖解。

【0024】 第 5A 及 5B 圖為用於雷射鑽鑿之第三光學總成的圖解。

【0025】 第 6 圖為用於雷射鑽鑿之第四光學總成的示意圖。

【0026】 第 7A 圖為本申請案中描述來形成更穩固邊緣——產生去角及犧牲邊緣之各種方法的流程圖。

【0027】 第 7B 圖例示產生具有缺陷線之去角邊緣的製程。

【0028】 第 7C 圖例示使用沿預定平面產生缺陷線之聚焦及成角超短雷射對玻璃邊緣之雷射去角。相較於底部影像的僅兩個缺陷線平面而言，頂部展示使用 3 個缺陷線平面之實例。

【0029】 第 8A 及 8B 圖描繪皮秒雷射之隨時間變化的雷射發射。每一發射係藉由可含有一或多個子脈衝之脈衝「爆發」來表徵。例示相應於以下者之時間：脈衝持續時間、脈衝之間的區隔及爆發之間的區隔。

【0030】 第 9 圖例示使用在切割部件經釋放以充當犧牲區域之後保留的缺陷線，其阻滯藉由對該部件之邊緣的衝擊引起

的裂紋之擴展。

【0031】 第 10A 圖為置入離子交換中的具有內部缺陷線之切割部件的圖解，該離子交換增加足夠應力以移除穿孔邊緣且形成所要邊緣去角。

【0032】 第 10B 圖例示置入離子交換(IOX)中以釋放去角轉角的具有內部缺陷線之切割部件之圖解，其類似於第 10A 圖所示之圖解，但僅具有兩個缺陷線平面。

【0033】 第 10C 圖為具有多個角度(多於 3 個缺陷線平面之去角的圖解。

【0034】 第 11A 圖提供概述 INSTRON 壓縮試驗結果之繪圖，該 INSTRON 壓縮試驗係使用邊緣探針於一個實施例順應邊緣精整輪(拋光輪)之徑向邊緣上執行；

【0035】 第 11B 圖提供概述 INSTRON 壓縮試驗結果之繪圖，該 INSTRON 壓縮試驗係使用相同邊緣探針於比較剛性耐磨精整輪之徑向邊緣上執行。

【0036】 第 12A 圖為當以 15° 延伸邊緣去角來雷射切割各部分時獲得的邊緣輪廓之示意圖。

【0037】 第 12B 圖為當以 15° 縮短邊緣去角來雷射切割各部分時獲得的邊緣輪廓之示意圖。

【0038】 第 12C 圖為當以 45° 邊緣去角來雷射切割各部分時獲得的邊緣輪廓之示意圖。

【0039】 第 12D 圖顯示當以 60° 邊緣去角來雷射切割各部分時獲得的邊緣輪廓之示意圖。

【0040】 第 13A 圖表示複合固定磨輪，利用不同黏結材料、

磨料及形狀因數之輪設計可如何用於將精整動作集中來適合引入的邊緣輪廓。

【0041】 第 13B 圖例示順應拋光輪之概念，其規定在操作期間磨料漿經由錠子及輪之遞送。

【0042】 第 14 圖示意地例示恆定力拋光設備之一個實施例。

【0043】 第 15A 圖例示利用來機械處理雷射切割玻璃之順應輪 100 之一個實施例。

【0044】 第 15B-15E 圖為第 15A 圖之輪的顯微照片。

【0045】 第 16 圖例示第 15A-15E 圖之順應拋光輪之標稱磨料大小估計。

【0046】 第 17 圖例示利用藉由輪 100 之順應輪拋光所達成的示範性邊緣強度(MPa)效能。

【0047】 第 18A 及 18B 圖分別為雷射切割基板邊緣在藉由第 15A 圖之輪 100 之機械拋光前及後的頂點顯微鏡影像。

【0048】 第 19A 及 19B 圖分別為根據一個實施例的雷射切割基板邊緣在藉由輪之機械拋光前及後的頂點顯微鏡影像。

【0049】 第 20A 及 20B 圖分別為根據另一實施例的雷射切割基板轉角在藉由輪 100 之機械拋光前及後的頂點顯微鏡影像。

【實施方式】

【0050】 示範性實施例之描述如下。

【0051】 本文所述的實施例係關於使用雷射來去角及/或斜切任意形狀之玻璃基板及其他透明材料之邊緣的製程。第一實施例涉及利用超短脈衝雷射切割具有所要去角形狀之邊緣，該超短脈衝雷射可視需要後接其他製程步驟以用於完全

自動化分離。在第一方法中，製程基本步驟將於相交平面上產生疵點線，該等疵點線刻劃所要邊緣形狀，且建立最小阻力路徑以用於裂紋傳播及因此該形狀與其基板基質之分離及脫離。此方法基本上產生成形邊緣同時將該部分切割出主基板。雷射分離方法可經調諧且配置來使得成形邊緣能夠手動分離、部分分離或自我分離出原始基板。產生此等疵點線之基本原理詳細地描述於以下及描述於 2013 年 1 月 15 日申請之美國專利申請案第 61/752,489 號中。

【0052】 在第一步驟中，利用超短脈衝雷射束照射待處理之物體，該超短脈衝雷射束聚集成穿透基板之厚度的高縱橫比線焦點。在此高能密度容量內，材料經由非線性效應而改質。重要的是應注意：在沒有此高光學強度的情況下，非線性吸收不受觸發。在此強度閾值以下，材料對雷射輻射透明且如第 1A-1C 圖所示保持其原始狀態。藉由經所要線或路徑掃描雷射，產生狹窄缺陷線(幾微米寬)，且限定待於下一步驟中分離的周邊或形狀。所使用的特定雷射方法(以下所述)具有之優點在於：在單一道次中，該方法產生穿過材料之高度受控制全線穿孔，同時表面下破壞及碎屑產生極少($<75\text{ }\mu\text{m}$ ，較佳地 $<60\text{ }\mu\text{m}$ ，常常 $<50\text{ }\mu\text{m}$ ，且在一些實施例中 $\leq 40\text{ }\mu\text{m}$)。此與斑點聚焦雷射用於剝蝕材料之典型用途形成對比，在該典型用途中，常常需要多道次來完全地穿孔玻璃厚度，自剝蝕製程形成大量碎屑，且發生更廣泛的表面下損壞($>100\text{ }\mu\text{m}$)及邊緣碎裂。

【0053】 轉而參看第 2A 及 2B 圖，雷射鑽鑿材料之方法包

括：沿射束傳播方向觀察，將脈衝雷射束 2 聚焦成雷射束焦線 2b。如第 3A 圖所示，雷射 3(未圖示)發射雷射束 2，在光學總成 6 之射束入射側(稱為 2a)處，該雷射束入射於光學總成 6 上。光學總成 6 將入射雷射束轉變成輸出側上沿射束方向(焦線之長度 1)的在所限定擴張範圍內的擴延雷射束焦線 2b。待處理之平面基板 1 係定位於射束路徑中、處於光學總成之後，從而至少部分地重疊雷射束 2 之雷射束焦線 2b。參考符號 1a 指定平面基板的分別面向光學總成 6 或雷射之表面，參考符號 1b 指定基板 1 的通常平行間隔之反向表面。基板厚度(垂直於平面 1a 及 1b，亦即垂直於基板平面來量測)係以 d 來標記。

【0054】 如第 2A 圖所描繪，基板 1 垂直地對準縱向射束軸，且因此處於藉由光學總成 6 產生的同一焦線 2b 後方(基板垂直於繪圖平面)，且沿射束方向觀察，其以如下方式相對於焦線 2b 定位：在射束方向觀察的焦線 2b 在基板之表面 1a 之前開始，且在基板之表面 1b 之前終止，亦即仍處於基板內。在雷射束焦線 2b 與基板 1 之重疊區域中，亦即在藉由焦線 2b 覆蓋的基板材料中，沿縱向射束方向觀察，擴延雷射束焦線 2b 因此產生(在沿雷射束焦線 2b 之適合雷射強度的狀況下，該強度由於將雷射束 2 聚焦於長度 1 之區段上，亦即聚焦於長度 1 之線焦點上來確保)擴延區段 2c，誘導吸收係沿該縱向射束方向產生於基板材料中，從而在基板材料中沿區段 2c 誘導缺陷線或裂紋形成。缺陷線形成不僅為局部的，而且在誘導吸收之擴延區段 2c 之整個長度上。區段 2c 之長度(亦即，終究為

雷射束焦線 2b 與基板 1 重疊之長度)係以參考符號 L 來標記。誘導吸收之區段(或基板 1 之材料中經歷缺陷線之形成的區段)之平均直徑或平均範圍係以參考符號 D 來標記。此平均範圍 D 基本上相應於雷射束焦線 2b 之平均直徑 δ ，亦即，在約 0.1 μm 與約 5 μm 之間的範圍內之平均斑點直徑。

【0055】 如第 2A 圖所示，對雷射束 2 之波長 λ 為透明的基板材料歸因於沿焦線 2b 之誘導吸收而受熱。第 2B 圖概括的是：受熱基板材料將最終膨脹，以便相應誘導的張力導致微裂紋形成，其中該張力在表面 1a 處為最高。

【0056】 以下描述可應用來產生焦線 2b 之具體光學總成 6，以及其中可應用此等光學總成之具體光學設置。所有總成或設置基於以上描述，以便相同參考符號用於相同組件或特徵或其功能等同的彼等組件。因此，以下僅描述差異。

【0057】 因為最終導致分離之分割面為或必須具有高品質(就斷裂強度、幾何精度、粗糙度及對再機械加工要求之避免而言)，所以欲沿分割線 5 定位於基板表面上之個別焦線應較佳使用以下所述的光學總成來產生(在下文，光學總成亦替代地稱為雷射光學元件)。粗糙度尤其係由於焦線之斑點大小或斑點直徑而產生。為在雷射 3(與基板 1 之材料相互作用)之給定波長 λ 的狀況下達成例如 0.5 μm 至 2 μm 之小斑點大小，通常對雷射光學元件 6 之數值孔徑強加某些要求。此等要求由以下所述的雷射光學元件 6 來滿足。

【0058】 為達成所需數值孔徑，一方面，光學元件較佳應根據已知的阿貝公式($\text{N.A.} = n \sin(\theta)$)， n ：待處理玻璃之折射率；

θ ：孔徑角之一半；且 $\theta = \arctan (D/2f)$ ； D ：孔徑， f ：焦距)、針對給定焦距來安置所需開口。另一方面，雷射束應較佳地照射光學元件直至達到所需孔徑，其係典型地藉助於在雷射與聚焦光學元件之間使用增寬伸縮鏡(widening telescope)進行射束增寬而達成。

【0059】 出於沿焦線均勻相互作用之目的，斑點大小不應改變過於強烈。此可例如藉由以下來確保(參見以下實施例)：僅在小的圓形區域中照射聚焦光學元件，以便射束開口及因此數值孔徑之百分比僅輕微改變。

【0060】 根據第 3A 圖(於雷射輻射 2 之雷射束叢中的中心射束之位準處垂直於基板平面之截面；亦在此，雷射束 2 垂直地入射至基板平面，亦即以角度 β 為 0° 來入射，以便焦線 2b 或誘導吸收之擴延區段 2c 平行於基板法線)，藉由雷射 3 發射的雷射輻射 2a 首先導向至圓形孔徑 8 上，該圓形孔徑 8 對所使用之雷射輻射完全不透明。孔徑 8 經定向垂直於縱向射束軸，且定中心於所描繪射束叢 2a 之中心射束上。孔徑 8 之直徑以如下方式加以選擇：靠近射束叢 2a 之中心的射束叢或中心射束(此處以 2aZ 來標記)碰撞該孔徑且完全地由其吸收。僅射束叢 2a 之外周邊範圍中之射束(邊際射線，此處以 2aR 來標記)不被吸收，此歸因於相較於射束直徑而言減小的孔徑，而其側向地通過孔徑 8 且碰撞光學總成 6 之聚焦光學元件之邊際區域，在此處，該光學總成 6 係設計為球面切斷雙凸透鏡 7。

【0061】 定中心於中心射束上之透鏡 7 係特意設計為呈普通

球面切斷透鏡形式之非校正雙凸面聚焦透鏡。換言之，特意使用此種透鏡之球形像差。作為替換物，亦可使用偏離理想校正系統之非球體或多透鏡系統(亦即，不具有單一焦點之透鏡或系統)，其不形成理想焦點但形成具有有限長度之相異、狹長焦線。透鏡之區帶因此沿焦線 2b 聚焦，其受離透鏡中心之距離的影響。孔徑 8 跨於射束方向之直徑為射束叢之直徑(藉由範圍降低至之 $1/e$ 所定義的射束叢直徑)的大致 90%，且為光學總成 6 之透鏡之直徑的大致 75%。因此使用的是藉由阻斷在中心之射束叢而產生的非像差校正球形透鏡 7 之焦線 2b。第 3A 圖展示在穿過中心射束之一個平面中的截面，且當所描繪射束繞焦線 2b 旋轉時可看見完整的三維叢。

【0062】 此種焦線之一個缺點在於：條件(斑點大小、雷射強度)可沿焦線且因此沿材料中之所要深度改變，且因此所要類型的相互作用(無熔融、誘導吸收、熱塑性變形直至裂紋形成)可能僅可在焦線之一部分中選擇。此繼而意指：可能入射雷射光之僅一部分以所要方式得以吸收。以此方式，在一方面，製程之效率(所要分離速度之所需平均雷射功率)可受損，且另一方面，雷射光亦可透射至非所要之較深位置(黏附至基板或基板固持夾具之部分或層)中，且於其中以不合需要的方式(加熱、擴散、吸收、非所需改質)相互作用。

【0063】 第 3B-1-4 圖展示(不僅對於第 3A 圖中之光學總成而言，而且基本上對於任何其他可應用之光學總成 6 而言)：雷射束焦線 2b 可藉由將光學總成 6 相對於基板 1 適合地定位及/或對準以及藉由適合地選擇光學總成 6 之參數來不同地定

位：如第 3B-1 圖所概括，焦線 2b 之長度 l 可以如下方式調整：其超過基板厚度 d (此處係超過 2 倍)。若基板 1 中心地置放於焦線 2b (在縱向射束方向觀察)，則誘導吸收之擴延區段 2c 係於整個基板厚度上產生。

【0064】 在第 3B-2 圖中所示的狀況下，產生具有長度 l 之焦線 2b，其或多或少地相應於基板範圍 d 。因為基板 1 相對於線 2 以如下方式定位：線 2b 在基板之前 (亦即，外部) 之一點處開始，所以誘導吸收之擴延區段 2c 之長度 L (此處其自基板表面延伸至限定基板深度，而不延伸至反向表面 1b) 小於焦線 2b 之長度 l 。第 3B-3 圖展示以下狀況，其中基板 1 (沿射束方向觀察) 部分地定位於焦線 2b 之起始點之前，以便亦在此處，適用的是線 2b 之長度 $l > L$ (L = 基板 1 中誘導吸收之區段 2c 之範圍)。因此，焦線在基板內開始且延伸超出反向表面 1b 至基板以外。第 3B-4 圖最終展示以下狀況：所產生的焦線長度 l 小於基板厚度 d ，以便--在入射方向觀察到基板相對於焦線之中心定位的狀況下--焦線在基板內接近表面 1a 處開始且在基板內接近表面 1b 處結束 (例如， $l = 0.75 \cdot d$)。

【0065】 尤其有利的是：以如下方式實現焦線定位：藉由焦線覆蓋至少一個表面 1a、1b，亦即，誘導吸收之區段 2c 在至少一個表面上開始。以此方式，可能達成事實上理想的鑽鑿或切割，從而避免在表面處的剝蝕、羽化 (feathering) 及微粒化。

【0066】 第 4 圖描繪另一可應用光學總成 6。基本構造遵循第 3A 圖中所述之構造，因此以下僅描述差異。所描繪光學總

成係基於具有非球形自由表面以便產生焦線 2b 之光學元件的使用，該焦線 2b 係以形成具有有限長度 l 之焦線的方式成形。為達此目的，非球體可用作光學總成 6 之光學元件。在第 4 圖中，例如使用所謂的錐形稜鏡，亦常稱為旋轉三稜鏡。旋轉三稜鏡為一種特殊的錐形切斷透鏡，其在沿光軸之線上形成斑點源(或將雷射束轉變成環)。此種旋轉三稜鏡之佈局大體上為熟習此項技術者所知；實例中之圓錐角為 10° 。此處以參考符號 9 來標記的旋轉三稜鏡之頂點朝向入射方向導向且定中心於射束中心。因為旋轉三稜鏡 9 之焦線 2b 已在其內部內開始，所以基板 1(此處垂直於主射束軸對準)可定位於射束路徑中、處於旋轉三稜鏡 9 之直接後方。如第 4 圖所示，亦可能由於旋轉三稜鏡之光學特徵而使基板 1 沿射束方向移位，而不離開焦線 2b 之範圍。基板 1 之材料中的誘導吸收之擴延區段 2c 因此在整個基板深度 d 上延伸。

【0067】 然而，所描繪佈局遭受以下限制：因為旋轉三稜鏡 9 之焦線 2b 已在透鏡內開始，所以在透鏡與材料之間的有限距離狀況下，雷射能量之有效部分不聚焦於焦線 2b 的位於材料內之部分 2c 中。此外，就旋轉三稜鏡 9 之可利用折射率及圓錐角而言，焦線 2b 之長度 l 與射束直徑有關，此乃在相對薄材料(幾毫米)的狀況下總焦線可過長之原因，該總焦線過長具有的效應為：雷射能量再次不特定地(或不全部地)聚焦於材料中。

【0068】 此為需要包含旋轉三稜鏡及聚焦透鏡兩者之增強光學總成 6 的原因。第 5A 圖描繪此種光學總成 6，其中具有設

計來形成擴延雷射束焦線 2b 之非球形自由表面的第一光學元件(沿射束方向觀察)係定位於雷射 3 之射束路徑中。在第 5A 圖所示的狀況下，此第一光學元件為具有 5° 之圓錐角的旋轉三稜鏡 10，其垂直於射束方向定位且定中心於雷射束 3 上。旋轉三稜鏡之頂點朝向射束方向定向。此處為平凸透鏡 11 之第二聚焦光學元件(其曲率朝向旋轉三稜鏡定向)係定位於射束方向上、離旋轉三稜鏡 10 距離 z_1 處。在此狀況下大致為 300 mm 之距離 z_1 係以如下方式來選擇：藉由旋轉三稜鏡 10 形成的雷射輻射圓形地入射於透鏡 11 之邊際區域上。透鏡 11 將圓形輻射聚焦於距離 z_2 (在此狀況下離透鏡 11 為大致 20 mm) 處之輸出側上、具有限定長度(在此狀況下為 1.5 mm) 之焦線 2b 上。此處，透鏡 11 之有效焦距為 25 mm。雷射束藉由旋轉三稜鏡 10 之圓形轉變係以參考符號 SR 來標記。

【0069】 第 5B 圖詳細地描繪根據第 5A 圖的在基板 1 之材料中焦線 2b 或誘導吸收 2c 之形成。兩個元件 10、11 之光學特徵以及其定位係以如下方式選擇：焦線 2b 於射束方向上之範圍 1 與基板 1 之厚度 d 恰好相等。因此，需要基板 1 沿射束方向之確切定位，以便將焦線 2b 恰好定位於基板 1 之兩個表面 1a 與 1b 之間，如第 5B 圖所示。

【0070】 因此有利的是，焦線在離雷射光學元件之某一距離處形成的情況，及雷射輻射之較大部分聚焦至焦線之所要末端的情況。如所述，此可藉由僅圓形地照射主要聚焦元件 11(透鏡)至所需區帶來達成，從而一方面用以實現所需數值孔徑及因此所需斑點大小，然而另一方面，在斑點(如基本上圓

形斑點)之中心的極短距離上形成所需焦線 2b 之後，擴散圓環之強度減小。以此方式，缺陷線形成在所需基板深度的短距離內停止。旋轉三稜鏡 10 及聚焦透鏡 11 之組合符合此項要求。旋轉三稜鏡以兩種不同的方式來作用：歸因於旋轉三稜鏡 10，將通常為圓形的雷射斑點以環之形式發送至聚焦透鏡 11，且旋轉三稜鏡 10 之非球面性具有如下效應：形成超出透鏡之焦平面的焦線替代在焦平面中形成焦點。焦線 2b 之長度 l 可經由旋轉三稜鏡上之射束直徑來調整。另一方面，沿焦線之數值孔徑可經由距離 z1 旋轉三稜鏡-透鏡及經由旋轉三稜鏡之圓錐角來調整。以此方式，整個雷射能量可集中於焦線中。

【0071】 若設想缺陷線形成持續至基板之出射側，則圓形照射仍具有以下優點：一方面，以如以下最可能方式來使用雷射功率：大部分雷射光保持集中於焦線之所需長度中，另一方面，可能沿焦線達成均勻斑點大小--及因此沿焦線之均勻分離製程--此係歸因於圓形照射區帶連同藉助於其他光學功能設定的所要像差。

【0072】 替代第 5A 圖中所描繪的平凸透鏡，亦可能使用聚焦彎月面透鏡或另一較高校正聚焦透鏡(非球體、多透鏡系統)。

【0073】 為使用第 5A 圖所描繪的旋轉三稜鏡及透鏡之組合來產生極短焦線 2b，較佳選擇入射於旋轉三稜鏡上的極小射束直徑之雷射束。其具有以下實際缺點：射束於旋轉三稜鏡之頂點上的定中心應極為精確，且因此所得者對雷射之方向

變化(射束漂移穩定性)極為敏感。此外，緊密準直雷射束極為發散，亦即，歸因於光偏轉，射束叢在短距離上變得模糊。

【0074】 返回第 6 圖，兩種效應可藉由插入另一透鏡，即準直透鏡 12 來避免：此另一凸透鏡 12 用以極緊密地調整聚焦透鏡 11 的圓形照射。準直透鏡 12 之焦距 f' 係以如下方式來選擇：所要圓環直徑 d_r 由旋轉三稜鏡至準直透鏡 12 之距離 z_{1a} 產生，該距離 z_{1a} 等於 f' 。環之所要寬度 b_r 可經由距離 z_{1b} (準直透鏡 12 至聚焦透鏡 11) 來調整。作為純幾何學之問題，圓形照射之小寬度導致短焦線。在距離 f' 處可達成最小值。

【0075】 因此，第 6 圖中所描繪的光學總成 6 係基於第 5A 圖中所描繪的光學總成，因此以下僅描述差異。此處亦設計為平凸透鏡(其曲率朝向射束方向)之準直透鏡 12 另外置放於介於一側上的旋轉三稜鏡 10(其頂點朝向射束方向)與另一側上的平凸透鏡 11 之間的射束路徑之中心處。準直透鏡 12 與旋轉三稜鏡 10 之距離稱為 z_{1a} ，聚焦透鏡 11 與準直透鏡 12 之距離稱為 z_{1b} ，且所產生焦線 2b 與聚焦透鏡 11 之距離稱為 z_2 (始終在射束方向觀察)。如第 6 圖所示，藉由旋轉三稜鏡 10 形成的圓形輻射 SR 沿距離 z_{1b} 調整至所需圓環寬度 b_r ，以在聚焦透鏡 11 處達到至少大致恆定圓環直徑 d_r ，該圓形輻射 SR 發散地且在圓環直徑 d_r 下入射於準直透鏡 12 上。在所示的狀況下，被認為是產生極短焦線 2b，以便在透鏡 12 處大致 4 mm 之圓環寬度 b_r 由於透鏡 12 之聚焦性質而減小至在透鏡 11 處的大致 0.5 mm (該實例中圓環直徑 d_r 為 22 mm)。

【0076】 在所描繪實例中，可能使用 2 mm 之典型雷射束直

徑、具有焦距 $f = 25 \text{ mm}$ 之聚焦透鏡 11、具有焦距 $f' = 150 \text{ mm}$ 之準直透鏡來達成小於 0.5 mm 的焦線 1 之長度。此外，在此實施例中， $Z1a = Z1b = 140 \text{ mm}$ 且 $Z2 = 15 \text{ mm}$ 。

【0077】 一旦產生具有缺陷之線(本文亦稱為疵點線或穿孔)，分離即可經由以下發生：疵點線上或周圍之手動或機械應力；應力或壓力應產生張力，該張力將疵點線之兩側拉開，且使仍黏結在一起之區域破裂。分離取決於若干製程參數，諸如雷射掃描速度、雷射功率、透鏡之參數、脈衝寬度、重複率等等。

【0078】 第 7A 圖給出本申請案中所述的製程之概述。

【0079】 在使用短脈衝雷射形成所要形狀及邊緣之方法中，所開發製程依賴於在線性區域中對雷射波長之材料透明度，或允許維持清潔及高(或原始)表面品質之低雷射強度，以及藉由圍繞雷射焦點之高強度區域產生的減小表面下破壞。此製程之重要參數之一為藉由超短脈衝雷射產生的缺陷之高縱橫比。其允許長及深疵點或缺陷線之產生，該疵點或缺陷線可自待切割及去角之材料之頂表面延伸至底表面。原則上，每一缺陷可藉由單一脈衝來產生，且必要時可使用其他脈衝來增加受影響區域之範圍(深度及寬度)。

【0080】 存在若干產生彼缺陷線之方法。形成線焦點之光學方法可採取多種形式，其使用圈餅形雷射束及球形透鏡、旋轉三稜鏡透鏡、繞射元件或形成高強度之線性區域的其他方法。亦可改變雷射之類型(皮秒、飛秒等等)及波長(IR、綠色、UV 等等)，只要達到足夠的光學強度來產生基板材料之擊穿

(breakdown)即可。

【0081】 在本發明實施例中，超短脈衝雷射係用於以一致、可控制及可重複方式產生此高縱橫比垂直缺陷線。以上描述允許此垂直缺陷線之產生的光學設置之詳情。此實施例於光學透鏡總成中利用旋轉三稜鏡透鏡元件，以使用超短(皮秒或飛秒持續時間)貝色束來產生具有高縱橫比無錐度(taper-free)微通道之區域。換言之，旋轉三稜鏡將雷射束聚集至具有圓柱形及高縱橫比(長的長度及小的直徑)之區域中。由於利用聚集雷射束產生的高強度，雷射電磁場與材料之非線性相互作用發生，且雷射能量轉移至基板。然而，重要的是實現：在其中雷射能量強度不高之區域(例如，玻璃表面、圍繞中心會聚線之玻璃體積)中，玻璃不發生變化，因為雷射強度低於非線性閾值。

如第 1A-1C 圖所例示，用以切割及分離玻璃基板之方法基本上係基於利用超短脈衝雷射於待處理之材料上產生疵點線。特定選擇的製程參數將取決於材料性質(吸收、CTE、應力、組成物等等)及選用於處理之雷射參數。

【0082】 在一些狀況下，所產生疵點線不足以使其自動地分離，且輔助步驟可為必要的。若需要如此，則在非化學強化玻璃的狀況下，分離可在缺陷線之產生之後、藉由施加機械力來達成。使用第 1A-1C 圖所例示的分離具有平坦邊緣之玻璃基板的相同原理，製造去角邊緣之製程可如第 7A 圖所例示來修改。為分離玻璃以形成良好品質去角邊緣，例如，在一個實施例中，吾等產生具有缺陷線之三個分離平面，該等分

離平面相交且限定去角或斜角邊緣之形狀的邊界。不同形狀可如第 7C 圖所例示藉由使用例如僅兩個相交缺陷線平面來產生，但邊緣之平坦部分必須在無任何缺陷線的情況下破裂/分離。利用缺陷線特徵之適當組合及用 IOX 浴之處理在缺陷線平面處分離轉角應為可能的。例如，缺陷線可相對於玻璃基板之平坦表面的法線以 α_i 來形成，在一些實施例中，角度 $0^\circ < \alpha_i < 90^\circ$ 。例如，第 7B 圖之底部上的去角邊緣係藉由 3 個相交平面來製造，該等相交平面各自含有複數個缺陷線。

雷射及光學系統：

【0083】 例如，出於切割玻璃或其他透明脆性材料之目的，開發一種製程，其使用(例如，1064 nm，或 532 nm、266 nm，或 261 nm)皮秒雷射與線焦點射束形成光學元件組合來於基板中產生破壞線(亦即，缺陷線)。具有 0.7 mm 厚度之樣本 Corning® Gorilla®玻璃 2320 號經定位以便其處於線焦點內。利用約 1 mm 範圍之線焦點及在 200 kHz 之重複率(約 150 μ J/脈衝)下產生約 >30 W 之輸出功率的皮秒雷射的情況下，則線區域中之光學強度可易於為足夠高的，以便在該材料中產生非線性吸收。產生的所破壞、剝蝕、汽化或以其他方式改質材料之區域大致遵循高強度之線性區域。

【0084】 注意，此皮秒雷射之典型操作產生脈衝之「爆發」。(參見，例如，第 8A 及 8B 圖)。每一「爆發」可含有極短持續時間(例如，約 10 psec)之多個脈衝(本文亦稱為子脈衝)。爆發內之每一子脈衝或個別脈衝在時間上區隔例如大致 20 nsec (50 MHz)，其中時間常常由雷射共振腔設計決定。對約 200

kHz 之雷射重複率而言，每一「爆發」之間的時間將更加長，常常為約 $5\ \mu\text{sec}$ 。確切時間、脈衝持續時間及重複率可取決於雷射設計而改變。然而，已證實高強度之短脈衝($<15\text{psec}$)良好適於此技術。

【0085】 例如，脈衝之每一爆發可含有兩個脈衝(本文亦稱為子脈衝)或兩個以上脈衝(諸如，一次爆發內 3 個脈衝、4 個脈衝、5 個脈衝、10 個脈衝、15 個脈衝、20 個脈衝、22 個脈衝、25 個脈衝，或 25 個以上脈衝)，該等脈衝彼此區隔在約 $1\ \text{nsec}$ 與約 $50\ \text{nsec}$ 之間的範圍內之持續時間，例如 $10\ \text{nsec}$ 至 $50\ \text{nsec}$ (例如，約 $20\ \text{nsec}$ 或 $30\ \text{nsec}$)之持續時間，且爆發重複頻率(亦即，兩個連續爆發中第一脈衝之間的區隔)可在約 $1\ \text{kHz}$ 與約 $200\ \text{kHz}$ 之間的範圍內。脈衝雷射束可具有一波長，該波長經選擇以使得材料在此波長下為大體上透明的。在本揭示內容之情形中，當在此波長下，每 mm 材料深度之吸收小於約 50% (例如 $<40\%$)、更佳小於 10% 且甚至更佳小於約 1% 時，材料對雷射波長為大體上透明的。此波長可例如為 $1064\ \text{nm}$ 、 $532\ \text{nm}$ 、 $355\ \text{nm}$ 或 $266\ \text{nm}$ 。在材料處量測的平均雷射功率可為每 mm 厚度之材料大於 40 微焦耳，例如介於 40 微焦耳/mm 與 1000 微焦耳之間，例如 $100 - 900\ \mu\text{J/mm}$ ，或介於 100 微焦耳/mm 與 650 微焦耳/mm 之間，以 $200 - 400\ \mu\text{J/mm}$ 較佳。

【0086】 例如，如第 8A 及 8B 圖所例示，根據本文所述的實施例，皮秒雷射產生脈衝 500A 之「爆發」500，其有時亦稱為「爆發脈衝」。每一「爆發」500 可含有具有極短持續時間 T_d 之多個脈衝 500A，該持續時間 T_d 至多 $100\ \text{psec}$ (例如， 0.1

psec、5 psec、10 psec、15 psec、18 ps、20 ps、22 ps、25 ps、30 ps、50 ps、75 ps 或介於其之間)。單一爆發 500 內之此等個別脈衝 500A 亦可稱為「子脈衝」，其簡單地表示該等脈衝係出現在脈衝之單一爆發內。爆發內之每一雷射脈衝 500A 之能量或強度可不等於爆發內之其他脈衝之能量或強度，且爆發 500 內之多個脈衝之強度分佈常常遵循由雷射設計所決定的時間之指數衰變。較佳地，本文所述的示範性實施例之爆發 500 內之每一脈衝 500A 藉由 1 nsec 與 50 nsec(例如 10-50 ns，或 10-30 nsec 之持續時間 T_p 而在時間上與該爆發中之後續脈衝區隔，其中時間常常由雷射共振腔設計來決定。對於給定雷射而言，爆發 500 內之每一脈衝之間的時間區隔 T_p (脈衝至脈衝區隔)為相對均勻的($\pm 10\%$)。例如，在一些實施例中，每一脈衝在時間上與後續脈衝區隔大致 20 nsec (50 MHz)。例如，對產生約 20 nsec 之脈衝區隔 T_p 之雷射而言，爆發內之脈衝至脈衝區隔 T_p 維持於約 $\pm 10\%$ 內或為約 ± 2 nsec。每一「爆發」之間的時間(亦即，爆發之間的時間區隔 T_b)將更加長(例如， $0.25 \text{ 微秒} \leq T_b \leq 1000 \text{ 微秒}$ ，例如 1-10 微秒，或 3-8 微秒)。例如，在本文所述的雷射之一些示範性實施例中，對約 200 kHz 之雷射重複率或頻率而言，其為約 5 微秒。雷射重複率亦在本文中稱為爆發重複頻率，且定義為爆發中之第一脈衝與後一爆發中之第一脈衝之間的時間。在其他實施例中，爆發重複頻率在約 1 kHz 與約 4 MHz 之間的範圍內。更佳地，雷射重複率可例如在約 10 kHz 與 650 kHz 之間的範圍內。每一爆發中之第一脈衝與後一爆發中之第一脈衝之間

的時間 T_b 可為 0.25 微秒(4 MHz 重複率)至 1000 微秒(1 kHz 重複率)，例如 0.5 微秒(2 MHz 重複率)至 40 微秒(25 kHz 重複率)，或 2 微秒(500 kHz 重複率)至 20 微秒(50 kHz 重複率)。確切時序、脈衝持續時間及重複率可取決於雷射設計而改變，但高強度之短脈衝($T_d < 20$ psec 且較佳 $T_d \leq 15$ psec)已證實為尤其良好適用的。

【0087】 改質材料之所需能量可就爆發能量——爆發內所含的能量(每一爆發 500 含有一系列脈衝 500A)而言，或就單一雷射脈衝內所含的能量(許多個單一雷射脈衝可構成爆發)而言來描述。對於此等應用而言，每次爆發之能量可為 25-750 μJ ，更佳 50-500 μJ 、50-250 μu 。在一些實施例中，每次爆發之能量為 100 – 250 μJ 。爆發內的個別脈衝之能量可較小，且確切的個別雷射脈衝能量將取決於爆發 500 內的脈衝 500A 之數量及雷射脈衝隨時間的衰變速率(例如指數衰變速率)，如第 8A 及 8B 圖所示。例如，對恆定能量/爆發而言，若爆發脈衝含有 10 個別雷射脈衝 500A，則每一個別雷射脈衝 500A 將含有比同一爆發脈衝 500 僅具有 2 個個別雷射脈衝的情況更小的能量。

【0088】 使用能夠產生此等爆發脈衝之雷射有利於切割或改質例如玻璃之透明材料。與使用藉由雷射之重複率而在時間上間隔分開的單一脈衝相對比，使用經由子脈衝(其構成爆發 500)之快速序列來傳播雷射能量的爆發脈衝序列允許獲得相較於可能利用單一脈衝雷射的情況而言與材料的高強度相互作用之較大時間標度。雖然單一脈衝可在時間上延展，因為

此已完成，但是脈衝內之強度必須粗略地下降為脈衝寬度上之強度。因此，若 10 psec 單一脈衝延展為 10 nsec 脈衝，則強度下降大約三個數量級。此種減小可減小其中非線性吸收不再為重要的點之光學強度，且光材料相互作用不再強烈到足以允許切割。對比而言，利用爆發脈衝雷射，每一子脈衝 500A(或爆發 500 內之脈衝 500A)之脈衝期間的強度可保持極高--例如在時間上間隔分開大致 10 nsec 的三個 10 psec 脈衝 500A 仍允許每一脈衝內之強度比在單一 10 psec 脈衝之強度高大致三倍，而使得雷射與材料在現在為大三個數量級的時間標度上相互作用。因此，對爆發內的多個脈衝 500A 之此種調整允許以如下方式來操縱雷射-材料相互作用之時間標度：該方式可有助於與預存在電漿羽流(plume)的更大或更小光相互作用、與已藉由初始或先前雷射脈衝預激發的原子及分子的更大或更小光-材料相互作用，以及材料內的可促進微裂紋之受控生長的更大或更小加熱效應。爆發能量改質材料之所需量將取決於基板材料組成物及用於與基板相互作用的線焦點之長度。相互作用區域愈長，傳播出的能量愈多，且將需要的爆發能量愈高。

孔洞或破壞徑跡形成：

【0089】 若基板或透明材料具有足夠應力(例如，利用離子交換後玻璃)，則部件將自發地沿藉由雷射製程描出的穿孔破壞路徑開裂且分離。然而，若基板不存在大量固有的應力(例如，如 Corning Eagle XG[®]組成物的狀況)，則皮秒雷射將在試件中只形成破壞徑跡(亦即，缺陷線或穿孔)。缺陷線或破壞徑跡通

常具有不大於 $5\text{ }\mu\text{m}$ 之內徑。亦即，缺陷線(破壞徑跡)通常採取孔洞之形式，該等孔洞之不大於 5 微米、例如 0.5-1.5 微米，或 0.2 微米至 2 微米(例如，在一些實施例中，0.2 微米至 0.7 微米，或 0.3 微米至 0.6 微米)之內部尺寸。較佳地，孔洞之尺寸極小(幾微米或更小)。

【0090】 孔洞或缺陷線可穿孔材料之整個厚度，且可或可不為貫通材料之深度的連續開口。第 1C 圖展示穿孔一塊 $700\text{ }\mu\text{m}$ 厚未強化 Gorilla®玻璃基板之整個厚度的此等徑跡之實例。穿孔或破壞徑跡經由分裂邊緣之側面來觀察。穿過材料之徑跡未必為貫通孔——玻璃常常存在堵塞孔洞之區域，但該等區域通常大小較小。

【0091】 在基板係於聚焦雷射束下方平移時，此等孔洞之間的側向間隔(間距)係藉由雷射之脈衝速率來決定。形成整體孔洞僅需要單一皮秒雷射脈衝爆發，但需要時可使用多個脈衝。為以不同間距來形成孔洞，雷射可受觸發來以更長或更短間隔發射。對切割操作而言，雷射觸發通常係與射束下方之部件之台階驅動運動同步，因此雷射脈衝係以固定間隔來觸發，該固定間隔諸如每 $1\text{ }\mu\text{m}$ 或每 $5\text{ }\mu\text{m}$ 。在給定基板中之應力位準的情況下，確切間隔藉由有助於穿孔孔洞至穿孔孔洞的裂紋傳播之材料性質決定。然而，與切割基板對比，亦可能使用相同方法來僅穿孔材料。在此狀況下，孔洞例如以 $5\text{ }\mu\text{m}$ 間距分離。

【0092】 雷射功率及透鏡焦距(其決定絲縫長度(filament length)及因此功率密度)為確保對玻璃之完全穿透及低微裂痕

的尤其關鍵參數。

【0093】 一般而言，可利用雷射功率愈高，可利用以上製程愈快地切割材料。本文揭示的製程可以 0.25 m/sec 或更快的切割速度來切割玻璃。切割速度 (cut speed)(或切割速度 (cutting speed))為雷射束相對於透明材料(例如，玻璃)之表面移動同時產生多個孔洞或改質區域的速率。為最小化製造之資金投資且最佳化設備利用率，常常需要高切割速度，諸如，例如 250 mm/sec、400 mm/sec、500 mm/sec、750 mm/sec、1 m/sec、1.2 m/sec、1.5 m/sec，或 2 m/sec，或甚至 3.4 m/sec 至 4 m/sec。雷射功率等於爆發能量乘以雷射之爆發重複頻率(速率)。一般而言，為以高切割速度切割此種玻璃材料，破壞徑跡典型地間隔分開 1-25 微米，在一些實施例中，該間隔較佳為 3 微米或較大，例如 3-12 微米，或例如 5-10 微米。

【0094】 例如，為達成 300 mm/sec 之線性切割速度，3 微米孔洞間距相應於具有至少 100 kHz 爆發重複率之脈衝爆發雷射。為達 600 mm/sec 切割速度，3 微米間距相應於具有至少 200 kHz 爆發重複率之爆發脈衝雷射。需要在 200 kHz 下產生至少 40 μ J/爆發之脈衝爆發雷射及在 600 mm/s 切割速度下的切割來獲得至少 8 瓦特之雷射功率。因此，較高切割速度需要同等較高的雷射功率。

【0095】 例如，在 3 μ m 間距及 40 μ J/爆發下的 0.4 m/sec 切割速度將需要至少 5 瓦特雷射，在 3 μ m 間距及 40 μ J/爆發下的 0.5 m/sec 切割速度將需要至少 6 瓦特雷射。因此，較佳地，脈衝爆發之雷射功率為 6 瓦特或更高，更佳為至少 8 瓦特或

更高，且甚至更佳為至少 10W 或更高。例如，為在 4 μm 間距(缺陷線間隔或破壞徑跡之間的間隔)及 100 μJ /爆發下來達成 0.4 m/sec 切割速度，將需要至少 10 瓦特雷射，且為在 4 μm 間距及 100 μJ /爆發下達成 0.5 m/sec 切割速度，將需要至少 12 瓦特雷射。例如，為在 3 μm 間距及 40 μJ /爆發下達成 1m/秒之切割速度，將需要至少 13 瓦特雷射。此外，例如，在 4 μm 間距及 400 μJ /爆發下的 1 m/sec 切割速度將需要至少 100 瓦特雷射。破壞徑跡之間的最佳間距及確切爆發能量為材料依賴性的，且可依據經驗決定。然而，應注意，升高雷射脈衝能量或以較近間距來製得破壞徑跡不為始終使基板材料較好分離或具有改良邊緣品質之條件。破壞徑跡之間的間距過於緻密(例如<0.1 微米，或在一些示範性實施例中<1 μm ，或在一些實施例中< 2 μm)有時可抑制附近後續破壞徑跡之形成，且可常常抑制圍繞穿孔輪廓的材料之分離，且亦可導致玻璃內不需要的微裂痕之增加。間距過長(>50 μm ，且在一些玻璃中>25 μm 或甚至>20 μm)可導致「不受控制的微裂痕」--亦即，其中替代孔洞至孔洞之傳播，微裂紋沿不同路徑傳播，且在不同(不合需要)方向上引起玻璃開裂。此可最終降低分離玻璃部件之強度，因為殘餘微裂紋將充當弱化玻璃之瑕疵。用於形成每一破壞徑跡的爆發能量過高(例如，>2500 μJ /爆發，且在一些實施例中>500 μJ /爆發)可引起相鄰破壞徑跡之已形成微裂紋之「癒合」或再熔合，從而將抑制玻璃之分離。因此，較佳的是，爆發能量<2500 μJ /爆發，例如 $\leq$ 500 μJ /爆發。此外，使用過高的爆發能量可引起極大的微裂紋之形成，且產生減

小部件於分離之後的邊緣強度之瑕疵。爆發能量過低($<40\text{ }\mu\text{J}$ /爆發)可導致無可觀破壞徑跡形成於玻璃內，且因此造成極高分離強度或完全不能沿穿孔輪廓分離。

【0096】 藉由此製程實現的典型示範性切割速率(速度)為例如 0.25 m/sec 及更高。在一些實施例中，切割速率為至少 300 mm/sec 。在本文所述的一些實施例中，切割速率為至少 400 mm/sec ，例如 500 mm/sec 至 2000 mm/sec ，或更高。在一些實施例中，皮秒(ps)雷射利用脈衝爆發來產生缺陷線，其中週期性在 $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 與 $13\text{ }\mu\text{m}$ 之間，例如在 $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 與 $3\text{ }\mu\text{m}$ 之間。在一些實施例中，脈衝雷射具有 10 W - 100 W 之雷射功率，且材料及/或雷射束相對於彼此以至少 0.25 m/sec 之速率，例如以 0.25 m/sec 至 0.35 m/sec 或 0.4 m/sec 至 5 m/sec 之速率平移。較佳地，脈衝雷射束之每一脈衝爆發具有在工件處量測的每次爆發 mm 厚度工件大於 $40\text{ }\mu\text{J}$ 之平均雷射能量。較佳地，脈衝雷射束之每一脈衝爆發具有在工件處量測的每次爆發每 mm 厚度工件小於 $2500\text{ }\mu\text{J}$ 之平均雷射能量，且較佳每次爆發每 mm 小於約 $2000\text{ }\mu\text{J}$ ，且在一些實施例中每次爆發每 mm 厚度工件小於 $1500\text{ }\mu\text{J}$ ；例如每次爆發每 mm 厚度工件不超過 $500\text{ }\mu\text{J}$ 。

【0097】 已發現：相較於諸如 Corning Gorilla®之玻璃而言，穿孔具有含低鹼金屬或不含鹼金屬玻璃之鹼土金屬硼鋁矽酸鹽玻璃需要更高(高 5 至 10 倍)體積脈衝能量密度($\mu\text{J}/\mu\text{m}^3$)。此可例如藉由以下方式達成：利用脈衝爆發雷射，較佳以每次爆發至少 2 個脈衝，且於鹼土金屬硼鋁矽酸鹽玻璃(具有低量

鹼金屬或無鹼金屬)內提供約 $0.05 \mu\text{J}/\mu\text{m}^3$ 或更高，例如至少 $0.1 \mu\text{J}/\mu\text{m}^3$ ，例如 $0.1\text{-}0.5 \mu\text{J}/\mu\text{m}^3$ 之體積能量密度。

【0098】 因此，較佳的是：雷射利用每次爆發至少 2 個脈衝來產生脈衝爆發。例如，在一些實施例中，脈衝雷射具有 10 W-150 W(例如，10-100 W)之雷射功率，且利用每次爆發至少 2 個脈衝(例如，每次爆發 2-25 個脈衝)來產生脈衝爆發。在一些實施例中，脈衝雷射具有 25 W-60 W 之功率，且利用每次爆發至少 2-25 個脈衝產生脈衝爆發，且藉由雷射爆發產生的相鄰缺陷線之間的週期性或距離為 2-10 微米。在一些實施例中，脈衝雷射具有 10 W-100 W 之雷射功率，利用每次爆發至少 2 個脈衝來產生脈衝爆發，且工件及雷射束相對於彼此以至少 0.25 m/sec 之速率平移。在一些實施例中，工件及/或雷射束相對於彼此以至少 0.4 m/sec 之速率平移。

【0099】 例如，對切割 0.7 mm 厚非離子交換 Corning 2319 號或 2320 號 Gorilla 玻璃而言，觀察到：3-7 微米之間距可為良好適用，脈衝爆發能量為約 150-250 μJ /爆發，且爆發脈衝數量在 2-15 個的範圍變化，且較佳地，間距為 3-5 微米，且爆發脈衝數量(每次爆發之脈衝數量)為 2-5 個。

【0100】 在 1 m/sec 切割速度下，厚 Eagle XG[®]玻璃之切割典型地需要 15-84 瓦特之雷射功率之利用，30-45 瓦特常常為足夠的。一般而言，在各種玻璃及其他透明材料之中，申請人已發現：較佳介於 10 W 與 100 W 之間的雷射功率用以達成 0.2-1 m/sec 之切割速度，對許多玻璃而言，25-60 瓦特之雷射功率為足夠的(且最佳)。對 0.4 m/sec 至 5 m/sec 之切割速度而

言，雷射功率應較佳為 10 W-150 W，爆發能量為 40-750 μJ /爆發，每次脈衝 2-25 次爆發(取決於所切割之材料)，且 3 至 15 μm 或 3-10 μm 之孔洞離距(或間距)。對此等切割速度而言，使用皮秒脈衝爆發雷射為較佳的，因為其產生高功率及每次爆發所需數量之脈衝。因此，根據一些示範性實施例，脈衝雷射產生 10 W-100 W 之功率，例如 25 W 至 60 瓦特，且產生每次爆發至少 2-25 個脈衝之脈衝爆發，且缺陷線之間的距離為 2-15 微米；且雷射束及/或工件相對於彼此以至少 0.25 m/sec，在一些實施例中至少 0.4 m/sec，例如 0.5m/sec 至 5m/sec 或更快之速率來平移。

【0101】 切割及分離去角邊緣：

去角方法 1：

【0102】 已發現使用未強化 Gorilla®玻璃、尤其 Corning 2320 號的情況下允許去角邊緣之分離的不同條件。第一方法為僅使用皮秒雷射來產生缺陷線且形成遵循所要形狀(在此狀況下為去角邊緣)之疵點線。在此步驟之後，機械分離可伴隨使用破裂鉗、手動地彎曲部件或產生沿疵點線起始及傳播分離之張力的任何方法。為在 700 μm 厚未強化 Gorilla®玻璃中產生具有缺陷線之去角邊緣且機械地分離各部分，就以下光學元件及雷射參數而言發現最好結果：皮秒雷射(1064 nm)

去角旋轉三稜鏡透鏡之輸入射束直徑約 2 mm

旋轉三稜鏡角度 = 10 度

初始準直透鏡焦距 = 125 mm

最終物鏡焦距 = 40mm

焦點設定在 $z = 0.7 \text{ mm}$ (亦即，線焦點設定成就玻璃厚度而言之中心)

在 100%全功率下之雷射功率(約 40 瓦特)

雷射之脈衝重複率 = 200 kHz。

間距 = 5 μm

3 個脈衝/爆發

每個絲縫線單一道次

犧牲邊緣：

【0103】 剩餘缺陷線於玻璃內之存在可有益於在邊緣受衝擊時阻滯裂紋之擴展。在此狀況下，缺陷線平面可用於充當破壞阻滯位置，事實上產生玻璃中處於相對於缺陷線外部之區域之「犧牲」邊緣部分。實際上，犧牲邊緣之產生可為產生增加的部件可靠性而無需於部件之外部邊緣上之任何實體去角特徵、亦無需任何機械研磨及拋光來產生彼特徵之方法，該等犧牲邊緣簡單地具有到達分離邊緣內部之一額外缺陷線，或一組相交來在真實邊緣內部形成更複雜內部斜角之缺陷線。對此類型之犧牲邊緣的一些選擇展示於第 9 圖中。因為以上所述的皮秒雷射製程以單一道次且以至多 1 m/s 之速度產生每一缺陷線，所以極容易且成本有效地產生此等額外「破壞停止」線。

去角方法 2：

【0104】 缺陷線之示範性形成：

【0105】 為在 700 μm 厚未強化 Gorilla®玻璃中產生具有缺陷線之去角邊緣且機械地分離各部分，根據一個實施例，吾等

利用以下光學元件及雷射參數：皮秒雷射(1064 nm)

去往旋轉三稜鏡透鏡之輸入射束直徑約 2 mm

旋轉三稜鏡角度 = 10 度

初始準直透鏡焦距 = 125 mm

最終物鏡焦距 = 40 mm

焦點設定在 $z = 0.7$ mm (亦即，線焦點設定成就玻璃厚度而言之中心)

在 100%全功率下之雷射功率(約 40 瓦特)

雷射之脈衝重複率 = 200 kHz。

間距 = 5 μ m

3 個脈衝/爆發

每個絲縫線單一道次

例如以上所述的皮秒雷射之雷射產生疵點線且切割玻璃。藉由缺陷線形成的外部玻璃邊緣塊之分離無需藉由機械力進行。雷射處理自身可產生足夠應力來使小去角區域或轉角塊彈出部件。此雷射切割製程利用利用線焦點，且可以 200-1000 mm/sec 之速度、成法向地或以產生去角成形邊緣之角度來切割玻璃或其他透明材料。根據一些本文所述的實施例，在切割製程期間，強雷射束切割且分離薄玻璃，從而產生小於 60 μ m 之表面下破壞與小於 400 nm Ra 之表面粗糙度。根據一些實施例，表面下損壞小於 30 μ m，同時表面粗糙度小於 200 nm Ra。使雷射玻璃切割於最終產品形狀之幾微米內完成，現允許最終精整製程來僅移除最少玻璃存料以符合

顧客邊緣精整度、強度及邊緣衝擊要求。此製程可在玻璃表面之法向上切割玻璃堆疊，從而允許堆疊精整發生。

【0106】 藉由缺陷線形成的外部玻璃邊緣塊之分離無需藉由CO₂雷射之施加或機械力之施加來進行。在許多情況下，與玻璃基板分離的玻璃部件送往離子交換製程中之化學強化。離子交換自身可產生足夠應力來促進在部件之去角區域或轉角處的剝離或分離。新離子於玻璃表面中之引入可產生足夠應力來引起外部轉角塊剝離或分離。另外，用於離子交換製程之高溫鹽浴可提供足以沿疵點線誘導剝離或分離之熱應力，以提供去角或以其他方式成形之邊緣。在任一狀況下，最終結果為更緊密遵循內部缺陷線以形成所要去角形狀之邊緣參見第 10A-10C 圖)。第 10A 圖為置入離子交換中的具有內部缺陷線之切割部件的圖解，該離子交換增加足夠應力以移除穿孔邊緣且形成所要邊緣去角。第 10B 圖例示置入離子交換(IX)中以釋放去角轉角的具有內部缺陷線之切割部件之圖解，其類似於第 10A 圖所示之圖解，但僅具有兩個缺陷線平面。第 10C 圖為具有許多個角(多於 3 個缺陷線平面)之去角的圖解。

【0107】 雷射切割邊緣可經邊緣精整以移除保留於暴露於雷射切割及分離之區域中的邊緣上之破壞。根據至少一些實施例，藉由雷射切割製備的基板之邊緣強度可經由在邊緣精整期間使用顯著順應磨料邊緣精整輪(本文亦稱為拋光輪)明顯地增加。順應(0.1 GPa 至 5 GPa 之容積彈性模數)磨料拋光輪之使用以部分延性模式(regime)(在藉由工件之平行基板表面

及基板邊緣形成的轉角上集中例如此種移除)實現材料移除。如此一來，邊緣強度及防衝擊破壞性不僅藉由經部分延性模式材料移除(如在部分延性模式邊緣精整中藉由斷裂力學所決定)減少表面下破壞而增加，而且藉由中和應力集中點(亦即，平行基板表面與基板邊緣之間形成的轉角)、藉由將其磨圓而增加。在一些實施例中，拋光輪為順應固定磨料邊緣精整輪(磨料受封裝且不移動)。在一些實施例中，拋光輪為順應磨料邊緣精整輪，其中磨料以外部方式遞送且不受固定，但拋光輪藉由運載磨料來提供磨料邊緣精整。在此等實施例中，拋光輪主體仍順應 0.1 GPa 至 5 GPa 之容積彈性模數。在一些實施例中，拋光輪為順應固定磨料邊緣精整輪，且額外磨料以外部方式遞送，從而藉由運載磨料來提供磨料邊緣精整。在此等實施例中，拋光輪主體仍順應 0.1 GPa 至 5 GPa 之容積彈性模數。

【0108】 因此，根據一個實施例，該方法利用恆定力邊緣精整製程，其使用順應固定磨輪 **100**(本文亦稱為拋光輪或精整輪 **100**)其藉助於以軟(非金屬或陶瓷)耐磨黏結材料為特徵之構造製成順應性的，該耐磨黏結材料帶有一定量的具有提供所要邊緣精整之特定類型、大小、濃度及易碎性之磨料。黏結材料可為例如聚合物材料。順應固定磨輪 **100** 附著至能夠以高的速度旋轉該輪且同時使該輪與欲用於精整之基板邊緣接觸的設備。藉由收容輪 **100** 之設備施加側向力，以使得玻璃基板(工件)邊緣完全強加於順應輪中，進而允許藉由先進切割技術形成的基板邊緣輪廓上之應力集中點能夠得以磨圓及

中和。當然要進行順應輪 100 之矯正及上料(dressing)。

【0109】 更確切言之，如本文所提及，順應性係指固定精整輪對側向力之相對機械阻力，該側向力諸如藉由外部來源(諸如氣缸、簡易彈簧或其他此種裝置)遞送且經由如出現於邊緣精整之過程中的限定接觸區域(諸如代表性基板邊緣)傳送的側向力。在一個示範性實施例中，順應性係使用市售 INSTRON (型號 5500R)試驗系統來定量，該試驗系統經設置以經由設計來複製典型矩形基板邊緣之試驗探針遞送壓縮力至固定精整輪結構。輪係垂直地安裝且將探針帶至其表面、處於其外徑處，進而允許壓縮力徑向地施加於該輪。順應磨輪 100 提供相對低的對此測試中經由邊緣探針徑向傳送的壓縮力之初始阻力，進而允許基板邊緣於固定輪材料中之明顯穿透。根據一些本文所述的實施例，拋光輪為順應的——亦即，其具有 0.1 GPa 至 5 GPa (例如，1 GPa 至 4 GPa，或 2 GPa 至 4 GPa)之容積彈性模數。根據一些本文所述的實施例，拋光輪為順應的，以使得在 1 毫米之探針範圍(有效地等效於至輪中之穿透範圍)，藉由順應輪提供的阻力不大於 10 kg_f，例如，0.1 kg_f 至 6 kg_f (乾燥，不應用潤滑劑)。例如，在第 11A 圖中，可見：在 1 毫米之探針範圍(有效地等效於至輪中之穿透範圍)處，藉由順應輪提供的阻力為 3.73 kg_f。然而，自第 11B 圖可見：在非順應(但易磨)習知玻璃體(V2 型)拋光輪中之相同探針範圍產生超過 36 kg_f之超過——幾乎為相應於第 11A 圖之順應輪 100 之實施例的阻力之 10 倍，且此非順應輪將必須以 10 倍量之力應用於切割邊緣，且此種大的力可導致對基板之破壞、

表面下裂紋傳播及過量輪磨損。在此實施例中利用的順應輪 100 包含合成金剛石，但亦可使用其他磨料材料類型，諸如二氧化鈾、氧化鋯、碳化矽等等。用於此實施例之固定磨輪 100 中之磨料粒度係藉由光學顯微術測定為 $5 - 10 \mu\text{m}$ ，且以 2.5%-5% 的體積濃度存在。然而，使用此方法學之邊緣精整不受限於此等磨料大小及濃度範圍。亦可使用在 $0.1 \mu\text{m}$ 至 $100 \mu\text{m}$ 範圍變化的磨料粒度、在 2.5% 至 50% 體積濃度範圍變化的濃度、廣泛範圍之磨料易碎性(相對韌性)。此外，在此示範性實施例中，磨料之磨料韌性視為處於韌性之上限範圍(較不易碎)；其視為在評級量表上之 MBG 620-MBG 660 範圍內。然而，具有在 MBG 600 至 MBG 680 範圍變化的易碎性之磨料可用於包含此邊緣精整實施例之固定順應輪設置中，順應磨輪 100 可利用大範圍之磨料材料(亦即，天然金剛石、合成金剛石、鋯、二氧化鈾、碳化矽及許多其他磨料材料)(或由其製成)。如以上所提及，順應固定磨輪 100 附著至能夠以高的速度旋轉該輪且同時使該輪與欲用於精整之基板邊緣接觸的設備。輪旋轉速度係用於賦予(以及精確計量)在邊緣精整期間磨輪與基板(或工件)邊緣之接觸速率。當輪轉速典型地以每分鐘轉數來量測時，磨料與基板邊緣之相互作用亦為重要的，該相互作用如藉由個別磨料粒子與受精整之基板進行接觸之數量來表示。此接觸速率係表示為諸如每分鐘表面英尺(或公尺)之線性速率。在此示範性實施例中，工件之邊緣拋光係使用 101.6 mm 直徑順應精整輪 100 來完成，該順應精整輪以在 500 rpm 至 6000 rpm 範圍變化的輪速度旋轉，從而產生 159.6 smpm

至 1915.2 smpm (每分鐘表面公尺)之線性接觸速率。申請人咸信：較高輪速度(及因此線性表面接觸速率)，例如達到約 7000 rpm 或 2234 smpm)之輪速度在最大化材料移除及減少基板邊緣表面下破壞中更為有效。另外，最大輪操作速度可藉由向所選擇精整輪提供機械支撐來增加。例如，包含此實施例之順應耐磨輪在以 101.6 mm 直徑大小供應時擁有 7000 rpm 之最大操作速度(maximum operating speed；MOS)。然而，若此輪之內徑利用鋼或陶瓷壓入配合凸緣來加強，例如，MOS 可實質上得以增加(> 8000 rpm)。如上所述，根據此實施例，藉由收容輪 100 之設備施加側向力，以使得基板邊緣完全強加於順應輪中，進而允許藉由先進切割技術形成的基板邊緣輪廓上之應力集中點能夠得以磨圓及中和。在此實施例中，側向力之量係使用配備帶有電容量規之高速(10,000 rpm)空氣軸承心軸之研磨系統來量測，電容量規係以在操作期間可量測及記錄心軸氣隙之方式安裝。假定心軸氣隙之量值的變化與心軸偏轉成正比，因為心軸軸承自身具有極高剛度，且可因此忽略其偏轉之量值。因此，在操作期間量測的心軸氣隙之變化可視為藉由基板進入精整輪中之杠桿作用所賦予的側向力之結果。利用此種設備及方法，側向力可在所關注邊緣精整條件範圍內加以量測。在一個示範性實施例中，側向力之範圍係量測為 7.2-13.6 N (工件尺寸為 44 mm x 60 mm)。然而，更大側向力可利用於較大工件上。例如，具有 35.56 cm 對角線之代表性小板大小部件具有與其真空吸盤接觸的比典型 44 mm x 60 mm 大小樣本部件之面積大超過 30 倍的面積。

更確切言之，將需要明顯較大的側向力來將小板大小部件自其真空吸盤移去；因此，較大部件或工件可在精整期間於移去、破壞或破裂之前經受大得多的側向精整力。在邊緣精整中施加於基板之邊緣的側向力之量亦必須經調諧適於邊緣輪廓之幾何形狀。例如，正方形邊緣輪廓或以相對垂直而言之小角度(參見第 12A-12B 圖)去角之輪廓不需要與帶有具相對垂直而言之較大角度(參見第 12C-12D 圖)輪廓的彼等基板一樣大的、在邊緣精整期間用以有效地磨圓過渡轉角(在基板之平坦表面處形成的彼等轉角)的進入順應輪中之大穿透量。重要的是，應力集中之全部區域得以有效地精整，以便達成最大化化學強化後之邊緣強度的目標。若製成邊緣去角角度突起且計算出其相交部與藉由過渡轉角形成的平面之間的距離，則可得到在邊緣精整期間最佳輪穿透量之良好初始估計。在相對垂直而言之去角角度增加時，可預期在精整期間部件邊緣進入輪中之突出沒入量增加。例如，當去角角度為相對垂直而言 15 度(參見第 12B 圖)時，若欲以高的速度實現過渡轉角之磨圓，則部件邊緣沒入輪中約 93.78 μm 。藉由此估計方法，當去角角度為相對垂直而言 45 度(參見第 C 圖)時，進入輪中之推薦部件邊緣沒入量增加至 350 μm ，且相對垂直而言 60 度之去角角度(參見第 12D 圖)，在邊緣精整期間推薦部件浸入量超過 600 μm 。在邊緣精整期間向精整階段施加冷卻劑較佳係使用多埠冷卻劑環遞送系統來進行，該遞送系統駐留於用以按規定執行邊緣精整之精整平台上。例如，在此實施例中，將藉由 Hicksville NY 之 Universal Photonics

Incorporated 經銷的 BlueKool 冷卻劑混合(於清潔飲用水中之 3%濃度的 BlueKool 冷卻劑)，且經由多埠冷卻劑遞送環總成以 1-10 加侖每分鐘之速率施加於精整階段。然而，可使用廣泛範圍濃度之廣泛範圍切割液來達到此目的。諸如輕質機油、其他合成冷卻劑(例如，由 Berkley Hights, NJ 之 Oakite Chemetall 製造的 Sabrelube)及甚至清潔水之切割液亦可用作冷卻劑。以在此實施例中規定之方式進行的邊緣精整亦可在根本不存在任何冷卻劑的情況下執行；亦即，使用諸如順應輪 100 之順應磨輪拋光的乾燥邊緣。順應輪 100 之矯正可根據邊緣精整中之普遍接受的實踐方式來進行。在此實施例中，順應輪 100 係安裝於適當研磨平台上之小心平衡的心軸(平衡至 5 微米內)上，且利用側向力之受控制施加使碳化物工具與輪外徑接觸，進而優先地磨蝕該輪中不圓的彼等部分，直至在檢視時該精整輪係製成與研磨心軸之旋轉軸同心。在第二實施例中，在藉由雷射切割或分離(如上所述)之後，使用順應耐磨固定磨料複合輪 100' 來邊緣精整工件，亦即，輪 100' 可具有複合輪結構，其具有多個磨料層、部分或部件。用以構造此種輪 100' 之磨料部件(或例如層)之數量係由終端使用者所要的邊緣精整分佈之解析度來決定。在此複合體之每一磨料層(或一些層)中，輪結構可因以下者變化：磨料性質(類型、大小、濃度、易碎性、黏結、混合物)，尺寸性質(厚度、直徑、形狀)，及物理性質(硬度、磨蝕性、順應性)，其中在可應用的情況下對每一性質強加梯度。部件之處理條件及其相關聯範圍將如先前實施例來應用。然而，在此實施例中，

使用如所述的順應固定磨料之部分延性模式研磨之益處得以增加。亦即，複合固定磨輪結構可以將材料移除及精整動作分配至受機械加工之基板之不同區域的方式來設計及製造。例如，固定磨料精整輪可構造成帶有多個層，每一層藉由以下來加以區分：磨料類型、磨料大小、磨料易碎性、磨料濃度、黏結剛性，及甚至設計來將精整動作分配至基板邊緣之不同區域以適合邊緣輪廓及幾何形狀之直徑/形狀因數。例如，考慮使用雷射以產生正方形邊緣輪廓之方式切割之基板；亦即，不具有去角或斜角但僅具有垂直於基板之平行表面的邊緣。據認為，此種基板帶有跨於切割表面均勻量之破壞，但需要將材料移除集中於藉由基板之正方形切割邊緣及平行表面形成的轉角處，以便形成磨圓邊緣輪廓。在最簡單狀況下，此可使用由經定向且剛性設定在如第 13A 圖所示的適當位置中之三種結構組成複合輪。第 13A 圖表示複合固定磨料拋光輪，且亦例示輪設計如何利用不同黏結材料、磨料及形狀因數之，從而用於將精整動作集中來適合引入的邊緣輪廓。

【0110】 更確切言之，第 13A 圖中所示的三層複合固定磨料拋光輪係設計來將精整動作集中於轉角處，該等轉角為咸信需要產生所要邊緣輪廓及最大化邊緣衝擊抗力以及彎曲強度之位置。結構為對稱的；亦即，以「侵入性區帶」標記的層在複合結構之每一側面上相同，且僅輪之核心材料不同。

【0111】 在第三實施例中，雷射切割邊緣可使用順應耐磨輪 100”來邊緣精整，該順應耐磨輪 100”具有或不具有固定磨

料，但具有一定量的以適合速率遞送至臨界邊緣精整介面之鬆散磨料。固定輪如先前實施例所述為順應的(亦即順應輪 100)，且可裝載有一定量的亦呈相同磨料類型、濃度及易碎性之磨料。在此實施例中，邊緣精整係利用恆定力邊緣精整製程來進行，該恆定力邊緣精整製程使用藉助於以軟耐磨輪主體為特徵之構造製成順應的輪 100”，該耐磨輪主體帶有一定量的固定磨料(亦即，類似於順應輪 100)，但配備有鬆散磨料可藉由其在操作期間遞送至基板與輪之間的介面的構件(參見第 13B 圖)。鬆散磨料可呈大小自 10 奈米至 100 微米範圍變化的小磨料粒子之液體懸浮液形式，其藉助於泵或任何其他類似裝置遞送至基板-固定輪介面。鬆散磨料可為粒度極小的同時具有高磨料完整性及相對韌性(易碎性)，如爆震奈米金剛石粉末的狀況，或可為更大及明顯更易碎的，如在單晶金剛石粉末或金屬鍵金剛石粉末的狀況。鬆散磨料可以適當目標濃縮流形式直接轉向至基板-輪介面，或其可經由輪核心、藉助於研磨心軸遞送至介面，該研磨心軸配備旋轉管套及能夠接受且分配呈該形式之磨料材料之流體通道。鬆散磨料可以濃縮形式遞送，或可經適合稀釋以允許磨料與欲用於精整之基板表面的所需接觸。鬆散磨料亦可以如下方式供應：可迫使其進入順應輪結構(亦即，藉由使其放空)，且使其經由藉由高速回轉(500-10,000 rpm)輔助的輪結構放出以與預期基板表面進行接觸。鬆散磨料亦可遞送至複合輪結構之個別區段以進一步增強邊緣精整動作之分配。例如，若如第 13B 圖所示，根據本申請案中概述的實施例來雷射切割的基板之邊緣處理

之目標為將精整動作集中於基板轉角處，隨後可將更具侵入性的鬆散磨料(亦即，磨料大小、濃度及韌性較大)施配至位於輪橫截面之外區域中的漿料路徑，且使較精細、較不具侵入性的鬆散磨料(亦即，較小磨料大小、較低濃度、較易碎的)轉向至複合結構核心之中心(參見第 13B 圖)。固定磨輪複合結構尺寸、材料及物理性質及鬆散磨料性質之任何組合可用於以此方式執行分配式部分延性模式邊緣精整。

【0112】 邊緣精整製程參數及其相關聯操作範圍在此實施例中為與前一實施例相同的，且概述於以下，並隨附示範性操作範圍：

【0113】 輪速度 500-10,000 rpm——在一些實施例中為 500 rpm 至 8000 rpm，例如在一個實施例中，6000 rpm (1915 smpm)。

【0114】 輪直徑 50.8-203.2 mm——例如在一個實施例中，101.6 mm

輪製備——使用高精度心軸及碳化物工具矯正

【0115】 磨料性質：

a)磨料大小 0.1-100 μm ，例如 5-10 μm

b)磨料易碎性——MBG 600-MBG 680，例如在一些實施例中，MBG 650-MBG 680 (例如，MBG 660)

c)磨料濃度——2.5-50 體積%，例如在一些實施例中 2.5-5 體積%

d)磨料類型——類型不受限制——但在一些實施例中為合成金剛石

【0116】 順應輪 100、100'、100''

【0117】 饋送速率(工件之線性運動)：2 mm/min-10,000 mm/min，例如 100-300 mm/min(例如，在一些示範性實施例中，254 mm/min)

【0118】 若利用冷卻劑，則示範性冷卻劑流率-1-10 gpm (加侖/min)，例如約 5 gpm

【0119】 示範性冷卻劑遞送方法——例如：高壓導向，或受控制噴溢(例如經由噴嘴)

【0120】 冷卻劑組成物——無，或水，或輕質油，在一些實施例中於水中之 3% BlueKool 冷卻劑

【0121】 切割深度(側向力)：0.1 N-100 N，例如 10-20 N——例如 13.6 N。

【0122】 此技術提供以下優點之一或多者：

1. 精確雷射切割技術接著利用順應邊緣精整輪 100、100'或 100''之機械加工及所述恆定力拋光之組合消除對全邊緣研磨處理步驟及大多數後續邊緣拋光步驟的需要，進而將邊緣精整處理減少至單一步驟，且減少相應循環時間及相關費用。

2. 如所述的恆定力拋光允許對處理矩形基板之基板轉角的優異拋光；恆定力拋光允許精整輪與基板邊緣之良好接觸，甚至在諸如轉角之此等過渡點處亦如此，進而改良圍繞部件周邊之邊緣精整一致性，

3. 在本文所述的雷射切割之後的邊緣精整不需要昂貴、機械剛性、高精確研磨平台使用，然而，可將現存商業研磨平台與輪 100 一起使用來進行此邊緣精整。

4. 已利用此實施例之應用證明在拋光之後的化學強化後(亦即，玻璃在利用輪 100 拋光之後離子交換)超過 800 MPa 之邊緣強度；確切言之，甚至在基板之平坦表面過渡成預期邊緣輪廓所處的彼等點處之應力集中點得以移除。例如，在一個實施例中，經由以本文所述方式邊緣精整之 4-8 μm 材料移除產生(在離子交換之後) 15%之 IOX 後 B10 強度增加(自 659 MPa 至 761 MPa B10)，及 32%之 IOX 後最大邊緣強度之增加(自 720 MPa 至 950 MPa)。

5. 尺寸控制利用此方法得以明顯改良，因為以高精度切割部件成近淨形(near net shape)；因為邊緣精整僅需磨圓轉角以移除應力集中點，移除較少且幾乎不存在顯著尺寸變化之風險。

6. 因為藉由本文所述的實施例之方法的邊緣精整係以主要地部分延性模式精整及非脆性斷裂模式研磨來執行，所以在基板邊緣上的平坦平行表面(前表面與後表面)過渡成邊緣斜角形狀所處的點處不發生塊體碎裂。

7. 因為藉由此實施例之方法的邊緣精整主要地為部分延性模式精整及非脆性斷裂模式研磨，所以邊緣輪廓一致性藉由更一致且可靠的雷射切割及去角方法而非藉由邊緣精整得以指定；相較於邊緣精整之習知方法而言，基板邊緣於研磨凹槽中之不良對準較少成為關注點。

更確切言之，在如上所述利用雷射執行的切割後，根據一些實施例，切割玻璃基板(工件)係安裝於適當位置上且利用輪 100、100'、100''來邊緣拋光。此實施例允許邊緣拋光藉由實施恆定力拋光以高的速度進行。邊緣拋光步驟完全精整切割表面，且在本發明實施例中係於無額外機械研磨或拋光步驟的情況下執行(亦即，此製程不需要：多個研磨及拋光輪之使用，及/或機械研磨、接著利用若干類型之具有不同磨料特性之拋光輪的順序拋光步驟(自粗至細)以產生最終拋光)。

【0123】 在本文所述的設備中，所處理的玻璃基板(藉由以上所述的雷射系統)係安裝於能夠旋轉之吸盤及邊緣精整輪上，其中心軸係附著至幾乎無摩擦的線性滑動件。氣缸係使用來驅動旋轉精整輪進入欲拋光之玻璃基板之邊緣中且維持對輪之恆定側向力。將大衝程能力設計於氣缸中；此種大衝程能夠補償所有可能的輪磨損，進而維持對基板邊緣之恆定拋光力。使藉由皮秒雷射自身處理的玻璃基板於經由真空與其附著之吸盤上、以設計來匹配預期線性邊緣精整饋送速率之速度旋轉。以此方式，將基板邊緣饋送至恆定力饋送拋光輪中，且維持基板邊緣與精整輪之間的良好接觸，甚至維持諸如轉角之過渡點處的良好接觸。第 14 圖示意地例示利用順應拋光輪 100、100'、100''之恆定力拋光設備之一個實施例。第 15A 圖例示利用來機械處理雷射切割玻璃之順應輪 100 之一個實施例，該雷射切割玻璃係用於第 14 圖之設備中。

【0124】 在本發明一個實施例中，雷射切割成近淨形之 Gorilla™玻璃基板係使用包含本發明之方法來邊緣精整。基板

為具有 0.70 mm 厚度之 2320 Gorilla™玻璃材料，其使用以上所述的雷射處理方法雷射切割成矩形形狀因數。當產生此等玻璃基板(樣本)時，1064 nm 皮秒雷射切割系統係以 200 mm/sec 之切割速度操作。

【0125】 在此實施例中，玻璃基板係安裝於鋁真空吸盤上，該鋁真空吸盤帶有軟塑膠蓋以防止在邊緣處理期間對基板表面之破壞。真空係經由吸盤來抽吸，且基板牢固地黏附至吸盤且在精整期間固持在適當位置。邊緣拋光係以規定方式使用市售固定磨料研磨輪產品來進行。在此實施例中所選之邊緣精整輪為第 15A 圖所示的金剛砂拋光輪，其相應於第 15B-15E 圖之顯微鏡影像且具有第 16 圖所例示的磨料大小。所使用的示範性輪 100 之實體大小如下：

4.0 吋(101.6 mm)外徑

1.25 吋(31.75 mm)內徑

0.25 吋(6.35 mm)厚度

【0126】 在此實施例的狀況下，利用來用此輪拋光之製程條件如下：

心軸速度 = 6000 rpm，產生約 6283 sfpm (1915 smpm)操作

線性部件饋送速率 = 10 吋/分鐘(254 mm/分鐘)

每個部件每次循環或 13.6 N 恆定力之切割深度 = 0.001 吋
或 25.4 μ m

冷卻劑流動型式 = 噴溢冷卻劑

冷卻劑流率約 2-10 gpm (例如，5 gpm)

冷卻劑產品 = BlueKool

冷卻劑濃度 = 於水中 3-5%

研磨平台 = HURCO MX24 Machine System

利用磨料順應輪(本文亦稱為拋光輪)100、100”、100”切割之所要深度係藉由以下方式測定：拋光具有已知邊緣輪廓之部件且隨後在拋光後檢查，以評估邊緣之頂點處而且基板表面與邊緣輪廓之間的過渡點處之拋光有效性。

【0127】 出於以下原因選擇輪 100：

1. 其提供使基板進入輪中之適度壓緊力，從而產生基板邊緣之完成浸沒(前表面與後表面重疊)，
2. 其減少藉由用以產生基板之雷射切割製程產生的尖銳轉角過渡點。在利用輪 100 拋光期間，全部臨界區域中之此等尖銳轉角過渡點遭磨圓。
3. 其具有足以主要減少邊緣之全部區域中之基板表面下破壞，且亦足以產生視覺上具吸引力基板邊緣之磨料類型、大小及濃度。

【0128】 第 17 圖例示利用藉由輪 100 之順應輪拋光所達成的示範性邊緣強度效能。第 18A 及 18B 圖分別為雷射切割基板邊緣在藉由第 15A 圖之輪 100 之機械拋光前及後的頂點顯微鏡影像。第 19A 及 19B 圖分別為根據一個實施例的雷射切割基板邊緣在藉由輪之機械拋光前及後的頂點顯微鏡影像。第 20A 及 20B 圖分別為根據另一實施例的雷射切割基板轉角在藉由輪 100 之機械拋光前及後的頂點顯微鏡影像。如藉由此等圖所例示，藉由雷射切割邊緣之利用輪 100 的拋光產生視

覺上具吸引力的、透明、光亮邊緣表面。藉由輪 100 之材料移除為小的——亦即， $2-10\text{ }\mu\text{m}$ ，且在一些實施例中約 $4-8\text{ }\mu\text{m}$ 。雷射切割邊緣輪廓相當平滑，同時觀察到顯著磨圓的雷射切割轉角。觀察到邊緣強度改良在僅受雷射切割之部件上增加(參見第 17 圖)。

【0129】 方法 1 之皮秒穿孔部分已與機械處理(利用輪 100 之拋光)組合以產生去角輪廓。此製程可應用於透明材料，例如薄玻璃(例如， $<2\text{ m}$)，或彎曲玻璃，且所得玻璃具有強固邊緣且具有極高品質。藉由離子交換產生的應力輪廓釋放穿孔邊緣

【0130】 以上所述的方法提供以下益處，該等益處可理解為增強的雷射處理能力及成本節省，且因此較低成本的製造。在當前實施例中，切割及去角製程提供：

【0131】 去角或完全切割具有去角邊緣之部件：所揭示方法能夠以清潔及受控制方式完全地分離/切割 Gorilla®玻璃及其他類型之透明玻璃。完全分離及/或邊緣去角係使用兩種方法證明。利用方法 1，將部件切割至適當大小，或使其與具有去角邊緣之玻璃基質分離，且原則上無進一步後處理。利用第二方法，該部件已切割成適當大小，經穿孔，且使用 IOX 製程來將邊緣去角。

【0132】 減少的表面下缺陷：利用方法 1，由於雷射與材料之間的超短脈衝相互作用，很少存在熱相互作用，及因此很少存在可導致不合需要應力及微裂痕之最小熱影響區。另外，將雷射束聚集至玻璃中之光學元件在部件之表面上產生

直徑典型地為 2 微米至 5 微米之缺陷線。在分離之後，表面下破壞可低達 $<30\ \mu\text{m}$ 。此對部件之邊緣強度具有很大影響，且減少對進一步研磨及拋光邊緣之需要，因為此等表面下破壞在使部件經受拉伸應力時可生長及發展成微裂紋且弱化邊緣之強度。

【0133】 製程清潔度：本揭示內容之方法 1 能夠以清潔及受控制方式將玻璃去角。使用習知剝蝕製程極易出問題，因為該等製程產生大量碎屑。此種剝蝕產生的碎屑是有問題的，因為其可難以移除，甚至利用各種清潔及洗滌方案亦如此。任何黏附微粒可引起其中將玻璃塗佈或金屬化來產生薄膜電晶體等等之稍後製程的缺陷。所揭示方法之雷射脈衝及與材料之誘導相互作用的特徵避免此問題，因為其在極短時間標度中發生，且對雷射輻射之材料透明度最小化誘導的熱效應。因為缺陷線係產生於物體內，所以在切割步驟期間碎屑及黏附粒子之存在實際上得以消除。若存在由所產生缺陷線得到任何微粒，則該等微粒將受充分包含直至部件分離。

消除製程步驟

【0134】 用以自引入玻璃面板製作玻璃板或基板以達最終大小及形狀之製程涉及若干步驟，涵蓋切割面板、切割之適當大小、精整及邊緣成形、薄化部件降至其目標厚度、拋光，以及在一些狀況下甚至化學強化。此等步驟中任何步驟之消除將就製程時間及資金費用而言節約製造成本。本發明方法可藉由例如以下來減少步驟數量：

1. 減少的碎屑及邊緣缺陷產生——洗滌及乾燥站之可能的消除

2. 將樣本直接地切割成其具有成形邊緣之最終大小、形狀及厚度——減少或消除對機械精整線(例如，藉由精整切割部件之方法為單一拋光步驟，而無額外研磨或拋光，及與其相關聯的非增值成本之需要。

【0135】 因此，根據一些實施例，處理工件之方法包含以下步驟：

(i)沿射束傳播方向觀察，將脈衝雷射束聚焦成雷射束焦線；

(ii)將該雷射束焦線以對該工件之第一入射角導向至該工件中，該第一角度與該工件之邊緣相交，該雷射束焦線於該工件內產生誘導吸收，該誘導吸收於該工件內產生沿該雷射束焦線之缺陷線；

(iii)將該工件及該雷射束相對於彼此平移，進而沿第一平面以該第一角度於該工件內雷射鑽鑿複數個缺陷線，該等缺陷線之每一者具有不大於 $5\ \mu\text{m}$ 之直徑；以及

(iv)將該工件沿該平面分離以產生具有至少一個切割表面之雷射切割工件；以及

(v)利用具有 $0.1\ \text{GPa}$ 至 $5\ \text{GPa}$ 之容積彈性模數的拋光輪拋光(亦即，邊緣精整)雷射切割工件之切割表面。

【0136】 根據一些實施例，雷射切割表面工件受極其快速地拋光，亦即，切割表面之總邊緣精整步驟——亦即，總拋光時間拋光時間 t 為： $1\ \text{sec} < t < 1\ \text{min}$ 。根據一些實施例， $t \leq 30\ \text{sec}$ ，

1a 表面/平面

1b 反向表面/平面/表面

2 脈衝雷射束/雷射束

2a 射束入射側/雷射輻射/射束叢

2aZ 中心射束

2aR 邊際射線

2b 雷射束焦線/擴延雷射束焦線/焦線/線

2c 擴延區段/區段/部分/誘導吸收

3 雷射

5 分割線

6 光學總成/雷射光學元件

7 球面切斷雙凸透鏡/透鏡/非像差校正球形透鏡

8 圓形孔徑/孔徑

9 旋轉三稜鏡

10 旋轉三稜鏡/元件

11 平凸透鏡/透鏡/元件/聚焦元件/聚焦透鏡

12 準直透鏡/凸透鏡/透鏡

500 單一爆發/爆發/爆發脈衝

500A 個別脈衝/雷射脈衝/脈衝/個別雷射脈衝

br 寬度/圓環寬度

d 基板厚度/基板深度

D 平均範圍

dr 圓環直徑

f 焦距

f' 焦距/距離

l 長度

L 長度

δ 平均直徑

λ 波長

z1 距離

z2 距離

z1a 距離

z1b 距離

SR 圓形轉變/圓形輻射

T_b 時間區隔/時間

T_d 持續時間

T_p 持續時間/脈衝區隔/脈衝至脈衝區隔

100 順應固定磨輪/拋光輪/精整輪/輪/順應輪/順應磨輪/輪/拋光輪

100' 順應耐磨固定磨料複合輪/輪/拋光輪

100'' 順應耐磨輪/輪/拋光輪

【生物材料寄存】

國內寄存資訊【請依寄存機構、日期、號碼順序註記】

無

國外寄存資訊【請依寄存國家、機構、日期、號碼順序註記】

無

【序列表】(請換頁單獨記載)

無

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)

藉由機械處理雷射切割玻璃的邊緣去角及/或切斜之玻璃物件及方法

GLASS ARTICLE AND METHOD OF EDGE
CHAMFERING AND/OR BEVELING BY
MECHANICALLY PROCESSING LASER CUT GLASS

【技術領域】

【0001】 本申請案根據專利法主張 2014 年 1 月 27 日申請之美國臨時申請案序列號第 61/932030 號之優先權權益，該申請案之內容為本文之基礎且以全文引用方式併入本文。本申請案亦主張 2014 年 7 月 10 日申請之美國臨時申請案第 62/022,885 號之權益及 2014 年 10 月 31 日申請之美國專利申請案第 14/530410 號之權益，該等申請案之整個揭示內容以引用方式併入本文。

【0002】 本揭示內容總體上係關於玻璃去角方法，且更特定而言係關於利用雷射結合機械精整之玻璃去角方法

【0003】 不承認本文引用的任何參考文獻構成先前技術。申請人明確保留對質疑任何引用文件準確性及切合性的權力。

【先前技術】

【0004】 在其中玻璃面板經切割用於建築學、汽車、消費者電子產品之應用中(列舉幾個領域)的所有狀況下，將存在很可

且在一些實施例中，工件藉由雷射切割的全部外部邊緣在 $\leq 10\text{sec}$ 內精整(亦即，雷射切割邊緣於 10 秒或更小內拋光)。不需要藉由研磨輪之機械玻璃研磨步驟——亦即，工件之雷射切割表面在分離或雷射切割之後、於一個拋光步驟中拋光，無需機械研磨且無需使用多個研磨/拋光步驟。較佳地，拋光輪 **100**、**100'**或 **100''**具有 40 mm 至 250 mm 之外徑，在一些實施例中，拋光輪具有 50 mm 至 200 mm 之外徑，且在一些實施例中，拋光輪之外徑為 80 mm 至 120 mm。輪之直徑決定基板邊緣與拋光輪 **100**、**100'**、**100''**之間的接觸區域。大直徑輪提供較大接觸區域(且減慢每 min 回轉數)且更佳用於較厚玻璃塊，較小直徑輪提供較小接觸區域(及每 min 之較大回轉數)且較佳用於較小或較薄玻璃工件。較佳地，拋光輪 **100**、**100'**或 **100''**以 500 rpm 至 10000 rpm 旋轉。較快輪速度增加輪與工件之總體接觸。較大旋轉速度為較佳的，因為其增加磨料粒子與工件邊緣之間的接觸數量。根據一些實施例，拋光輪 **100**、**100'**或 **100''**以 500 rpm 至 8000 rpm，例如以 5000 rpm 至 7000 rpm 旋轉。根據本文所述的一些實施例，拋光輪 **100**、**100'**或 **100''**包含多個磨料粒子，該等磨料粒子典型地具有 0.1 μm 至 100 μm 之橫截面寬度，且磨料粒子具有 600 MBG 至 680 MBG (例如，620-670 MBG 或 650 MBG 至 670 MBG)之相對韌性(斷裂韌性)。所得玻璃基板可具有例如在 600 MPa 與 1000 MPa 之間的邊緣強度。根據一些實施例，拋光輪 **100**、**100'**或 **100''**具有 80 mm 至 120 mm 之外徑，拋光輪以 500 rpm 至 8000 rpm 旋轉，拋光輪包含多個磨料粒子，該等磨料粒子具

有 0.1 μm 至 100 μm 之橫截面寬度且 650 MBG 至 670 MBG 之相對韌性且 MBG 650-MBG 680 之磨料易碎性。應指出的是，根據至少一些實施例，非強化玻璃首先如上所述雷射切割以產生至少一個去角邊緣，如根據本文揭示的實施例所述利用輪 100、100'或 100''邊緣拋光，且隨後離子交換或化學強化以提供具有 600 MPa 及 1000 MPa 之離子交換後邊緣強度(IX 後邊緣強度)的玻璃工件。因此，根據一些實施例，含有高含量之鹼金屬(例如， $> 5 \text{ wt\%}$ ，或 $\geq 7 \text{ wt\%}$ ，例如 7-12 wt%)的玻璃可獲離子交換。此等玻璃之實施例例如具有約 7-9 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ 之 CTE 及於組成物中之高量鹼金屬(如鈉)(允許其離子交換)以及相對高的熱擴散率。

【0137】 藉由本文所述的方法處理的一個示範性實施例為 Corning Gorilla®玻璃工件。

【0138】 根據其他實施例，玻璃為鹼土金屬硼鋁矽酸鹽玻璃複合物(具有低量鹼金屬或無鹼金屬)。

【0139】 本文引用的所有專利、公開申請案及參考文獻之相關教示內容以全文引用方式併入。

【0140】 雖然本文已描述示範性實施例，但熟習此項技術者將理解的是，在不脫離隨附申請專利範圍所涵蓋的本發明之範疇的情況下，可在該等實施例中做出各種形式變化及細節變化。

【符號說明】

【0141】

1 平面基板/基板



I673128

發明摘要

※ 申請案號：104102741

※ 申請日：2015 年 01 月 27 日

※IPC 分類：

【發明名稱】（中文/英文）

藉由機械處理雷射切割玻璃的邊緣去角及/或切斜之玻璃物件及方法

GLASS ARTICLE AND METHOD OF EDGE
CHAMFERING AND/OR BEVELING BY
MECHANICALLY PROCESSING LASER CUT GLASS

【中文】

本文描述使用雷射將任意形狀之玻璃基板之邊緣去角及/或斜角的製程。用以在玻璃基板上產生去角之兩種一般方法為：涉及利用超短脈衝雷射切割具有所要去角形狀之邊緣的第一方法；接著利用順應拋光輪之機械拋光。

【英文】

Processes of chamfering and/or beveling an edge of a glass substrate of arbitrary shape using lasers are described herein. Two general methods to produce chamfers on glass substrates are the first method involves cutting the edge with the desired chamfer shape utilizing an ultra-short pulse laser that is followed by mechanical polishing with a compliant polishing wheel.

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第（14）圖。

【本代表圖之符號簡單說明】：

100 順應固定磨輪/拋光輪/精整輪/輪/順應輪/順應磨輪/
輪/拋光輪

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

無

申請專利範圍

1. 一種對一工件的一邊緣去角或切斜之方法，包含以下步驟：

(i)沿射束傳播方向觀察，將一脈衝雷射束聚焦成一雷射束焦線；

(ii)將該雷射束焦線以對該工件之一第一入射角導向至該工件中，該第一角度與該工件之一邊緣相交，該雷射束焦線於該工件內產生一誘導吸收，該誘導吸收於該工件內產生沿該雷射束焦線之一缺陷線；

(iii)將該工件及該雷射束相對於彼此平移，進而沿一第一平面以該第一角度於該工件內雷射鑽鑿複數個缺陷線，該等缺陷線之每一者具有不大於 $5\text{ }\mu\text{m}$ 之一直徑；以及

(iv)將該工件沿該平面分離以產生具有至少一個切割表面之一雷射切割工件；以及

(v)藉由利用一拋光輪拋光該雷射切割工件之該切割表面來處理該工件，其中該拋光輪具有 0.1 GPa 至 5 GPa 之一容積彈性模數，且該拋光輪包含多個磨料粒子，該等磨料粒子具有至少 600 MBG 之相對韌性。

2. 如請求項 1 所述之方法，其進一步包含以下步驟：

將該雷射束焦線以對該材料之一第二入射角導向至該材料中，該雷射束焦線於該材料內產生一誘導吸收，該誘導吸收於該材料內產生沿該雷射束焦線之一缺陷線；

將該材料及該雷射束相對於彼此平移，進而沿一第二平面以該第二角度於該材料內雷射鑽鑿複數個缺陷線，該第二平面與該第一平面相交，該等缺陷線之每一者具有不大於 $5\ \mu\text{m}$ 之一直徑，以及

其中該分離之步驟係藉由將該材料沿該第一平面及該第二平面分離來執行，以產生該雷射切割材料。

3. 一種藉由雷射處理一玻璃材料對一工件的一邊緣去角或切斜之方法，其包含以下步驟：

沿射束傳播方向觀察，將一脈衝雷射束聚焦成一雷射束焦線；以及

針對 N 個平面之每一者，藉由以下步驟沿該等 N 個平面之每一者於該材料內雷射鑽鑿複數個缺陷線：

將該雷射束焦線以對該材料之一相應入射角導向至該材料中，該雷射束焦線於該材料內產生一誘導吸收，該誘導吸收於該材料內產生沿該雷射束焦線之一缺陷線；以及

將該材料及該雷射束相對於彼此平移，進而沿該等 N 個平面之該相應平面雷射鑽鑿該複數個缺陷線，該等缺陷線之每一者具有不大於 $5\ \mu\text{m}$ 之一直徑；以及

藉由向該工件應用一離子交換製程將該工件沿該等 N 個平面之至少一個分離，以產生具有一雷射切割表面之一雷射切割工件；以及

藉由一拋光輪拋光該雷射切割工件之該雷射切割表面歷時一時間 t ，其中 $1\ \text{sec} < t < 1\ \text{min}$ ，其中該拋光輪具有 $0.1\ \text{GPa}$

至 5 GPa 之一容積彈性模數，且該拋光輪包含多個磨料粒子，該等磨料粒子具有至少 600 MBG 之相對韌性。

4. 如請求項 1-3 任一項所述之方法，其中該拋光輪具有 40 mm 至 250 mm 之一外徑，該拋光輪係以 500 rpm 至 10000 rpm 旋轉，且該拋光輪包含多個磨料粒子，該等磨料粒子具有 0.1 μm 至 100 μm 之一橫截面寬度及 600 MBG 至 680 MBG 之相對韌性。

5. 如請求項 4 所述之方法，其中該拋光輪具有 80 mm 至 120 mm 之一外徑，該拋光輪係以 500 rpm 至 8000 rpm 旋轉，且該拋光輪包含多個磨料粒子，該等磨料粒子具有 0.1 μm 至 100 μm 之一橫截面寬度及 650 MBG 至 670 MBG 之相對韌性，且具有 MBG 650-MBG 680 之磨料易碎性。

6. 如請求項 1-3 任一項所述之方法，其中該雷射為具有在大於約 5 皮秒與小於約 20 皮秒之間的一範圍內之脈衝持續時間的一爆發脈衝雷射，爆發重複率在約 1 kHz 與 2 MHz 之間的一範圍內，且該爆發脈衝包括每次爆發 2-25 個脈衝。

7. 如請求項 6 所述之方法，其中該雷射具有 10-100 瓦特之功率。

8. 一種藉由如請求項 1、2 或 3 所述之方法製備的玻璃物件。
9. 如請求項 8 所述之玻璃物件，其中該去角邊緣具有至多小於或等於約 60 μm 之一深度的表面下破壞。
10. 如請求項 8 所述之玻璃物件，該玻璃物件具有一邊緣，該邊緣具有 600 MPa 及 1000 MPa 之一離子交換後邊緣強度。