



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公開本

(11)公開編號：TW 201917106 A

(43)公開日：中華民國 108 (2019) 年 05 月 01 日

(21)申請案號：107117490

(22)申請日：中華民國 107 (2018) 年 05 月 23 日

(51)Int. Cl.：

*C03C15/00 (2006.01)**C03C23/00 (2006.01)**H01L21/48 (2006.01)**H01L23/15 (2006.01)**H01L23/498 (2006.01)*

(30)優先權：2017/05/25 美國

62/510,957

2017/11/20 美國

62/588,615

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

美國

(72)發明人：達赫伯格 瑞秋伊蓮 DAHLBERG, RACHEL EILEEN (US)；黃甜 HUANG, TIAN

(CN)；金字輝 JIN, YUHUI (CN)；皮耶希 卡列特安卓 PIECH, GARRETT

ANDREW (US)；瑞奇思 丹尼爾歐漢 RICKETTS, DANIEL OHEN (US)

(74)代理人：李世章；彭國洋

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：10 項 圖式數：16 共 61 頁

(54)名稱

具有具軸向可變側壁錐形的穿孔的含二氧化矽基板及其形成方法

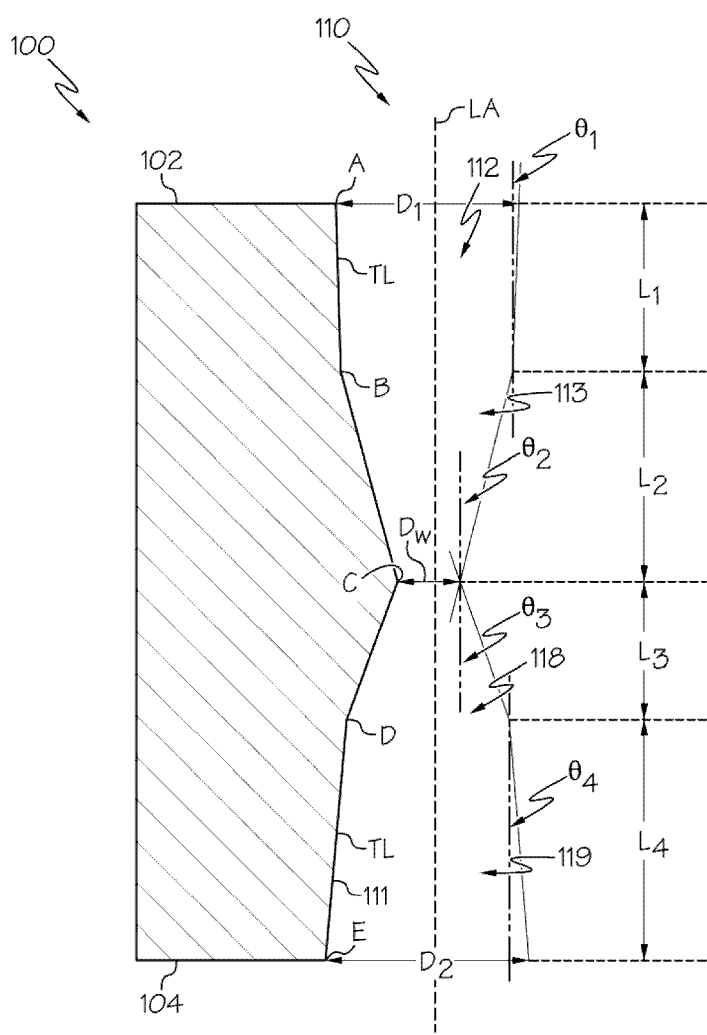
SILICA-CONTAINING SUBSTRATES WITH VIAS HAVING AN AXIALLY VARIABLE SIDEWALL TAPER AND METHODS FOR FORMING THE SAME

(57)摘要

本案揭示包括具有狹窄腰部的穿孔的含二氧化矽基板，及相關裝置及方法。在一個實施例中，物件包括含二氧化矽基板，其包括大於或等於 85 mol% 的二氧化矽、第一表面、與該第一表面相反的第二表面、及自該第一表面朝向該第二表面延伸穿透該含二氧化矽基板的穿孔。該穿孔包括在該第一表面處的小於或等於 100 μm 的第一直徑、在該第二表面處的小於或等於 100 μm 的第二直徑、及在該第一表面與該第二表面之間的穿孔腰部。該穿孔腰部具有小於該第一直徑及該第二直徑的腰部直徑以使得該腰部直徑與該第一直徑及該第二直徑中每一者之間的比率小於或等於 75%。

Silica-containing substrates including vias with a narrow waist, and related devices and methods are disclosed. In one embodiment, an article includes a silica-containing substrate including greater than or equal to 85 mol% silica, a first surface, a second surface opposite the first surface, and a via extending through the silica-containing substrate from the first surface toward the second surface. The via includes a first diameter less than or equal to 100 μm at the first surface, a second diameter less than or equal to 100 μm at the second surface, and a via waist between the first surface and the second surface. The via waist has a waist diameter that is less than the first diameter and the second diameter such that a ratio between the waist diameter and each of the first diameter and the second diameter is less than or equal to 75%.

指定代表圖：



第3圖

- 符號簡單說明：
- 100 . . . 含二氧化矽基板
 - 102 . . . 第一表面
 - 104 . . . 第二表面
 - 110 . . . 電氣導電穿孔
 - 111 . . . 內部壁
 - 112 . . . 第一錐形區域
 - 113 . . . 第二錐形區域
 - 118 . . . 第三錐形區域
 - 119 . . . 第四錐形區域
 - A . . . 點
 - B . . . 點
 - C . . . 點
 - D . . . 點
 - D₁ . . . 第一直徑
 - D₂ . . . 第二直徑
 - D_w . . . 腰部直徑
 - E . . . 點
 - L₁ . . . 第一段長度
 - L₂ . . . 第二段長度
 - L₃ . . . 第三段長度
 - L₄ . . . 第四段長度
 - L_A . . . 縱軸
 - θ₁ . . . 第一角度
 - θ₂ . . . 第二角度
 - θ₃ . . . 第三角度
 - θ₄ . . . 第四角度

【發明說明書】

【中文發明名稱】具有具軸向可變側壁錐形的穿孔的含二氧化矽基板及其形成方法

【英文發明名稱】SILICA-CONTAINING SUBSTRATES WITH VIAS HAVING AN AXIALLY VARIABLE SIDEWALL TAPER AND METHODS FOR FORMING THE SAME

【技術領域】

【0001】 本申請案根據專利法主張 2017 年 5 月 25 日申請的美國臨時申請案序列號第 62/510,957 號及 2017 年 11 月 20 日申請的美國臨時申請案序列號第 62/588,615 號之優先權權益，兩者之內容為本案之基礎且係以全文引用方式併入本文中。

【0002】 本揭示內容大體上係關於具有穿孔的含二氧化矽基板。詳言之，本揭示內容係關於包含至少 75 mol% 的二氧化矽的具有具軸向可變側壁錐形的穿孔的含二氧化矽基板，併入有具有穿孔的含二氧化矽基板之電子裝置，及用於在含二氧化矽基板中形成具有軸向可變側壁錐形的穿孔的方法。

【先前技術】

【0003】 諸如矽之基板已用作安置在電氣組件（例如，印刷電路板、積體電路、及類似物）之間的插入物。金屬化的穿透基板的穿孔提供供電信號穿透插入物以在插入物之相對側之間傳遞的路徑。玻璃基板為吸引人的材料，其對於電信號傳輸是高度有利的，因為其歸因於低的熱膨

脹係數 (coefficient of thermal expansion; CTE) 具有極佳的熱尺寸穩定性，且具有在高頻率電氣效能下很好的低電損耗，且可能在厚度以及在大的面板尺寸下形成。詳言之，諸如熔凝二氧化矽之高二氧化矽含量基板為甚至比常用玻璃更具吸引力的，因為熔凝二氧化矽之 CTE 可為極低的 (約 0.5 ppm / 攝氏度)，且電損耗正切可甚至比常常含有主要分數為非二氧化矽材料的玻璃更低。然而，在高二氧化矽含量基板中之穿通孔形成及金屬化存在重要挑戰。

【0004】 穿孔可藉由電鍍製程填充，其中電氣導電材料 (例如，銅) 係沉積在穿孔之側壁上且連續地堆積直至穿孔為氣密密封的。電鍍穿孔需要具有狹窄腰部的沙漏形狀，其提供用於將要在最初沉積的電氣導電材料之金屬「橋」。電氣導電材料係連續地沉積在此橋之兩側上直至穿孔得以填充。

【0005】 有助於在電子裝置之玻璃插入物中提供電連接的小直徑穿孔可藉由雷射破壞及蝕刻製程形成。在此製程中，破壞軌道最初係藉由使用雷射形成在玻璃基板中以改質沿破壞軌道之玻璃材料。隨後將蝕刻溶液應用於玻璃基板。玻璃基板係藉由蝕刻溶液薄化。因為玻璃材料之蝕刻速率在破壞軌道處更快，所以破壞軌道係優先地蝕刻以便穿孔穿透玻璃基板打開。在大多數玻璃材料中，穿孔之形狀係優先地為有助於電鍍之沙漏形狀。然而，在具有高二氧化矽含量之含二氧化矽基板諸如熔凝二氧化矽中，所

得穿孔係不具有狹窄腰部的圓柱形狀以用於在電鍍製程期間提供金屬橋。熔凝二氧化矽中之此種直壁穿孔無法電鍍。

【0006】 因此，對在含二氧化矽基板中形成具有軸向可變側壁錐形（例如，沙漏形狀）的穿孔之替代方法，以及併入有此種穿孔的含二氧化矽基板存在需要。

【發明內容】

【0007】 在一個實施例中，用於處理基板之方法，該基板包括二氧化矽、第一表面、及與該第一表面相反的第二表面，該方法包括使用雷射束形成穿透該基板自該第一表面至該第二表面的破壞軌道，其中該基板的沿該破壞軌道之改質位準在自該第一表面開始朝向該基板之主體的第一方向上降低，且該基板之該改質位準在自該第二表面開始朝向該基板之該主體的第二方向上降低。該破壞軌道包括緊鄰該第一表面的第一改質段、緊鄰該第二表面的第二改質段、及安置在該第一高度改質段與該第二高度改質段之間的第三改質段，其中該第三改質段之改質位準小於該第一改質段及該第二改質段之改質位準。該方法進一步包括使用蝕刻溶液蝕刻該基板以形成在該第一表面處具有第一直徑、在該第二表面處具有第二直徑、及在該第一表面與該第二表面之間具有腰部直徑的穿孔腰部之穿孔，其中該腰部直徑小於該第一直徑且小於該第二直徑。

【0008】 在另一實施例中，物件包括含二氧化矽基板，其包括大於或等於 85 mol% 的二氧化矽、第一表面、與

該第一表面相反的第二表面、及自該第一表面朝向該第二表面延伸穿透該含二氧化矽基板的穿孔。該穿孔包括在該第一表面處具有小於或等於 $100\ \mu\text{m}$ 之直徑的第一直徑、在該第二表面處具有小於或等於 $100\ \mu\text{m}$ 之直徑的第二直徑、及在該第一表面與該第二表面之間的穿孔腰部。該穿孔腰部具有小於該第一直徑及該第二直徑的腰部直徑以使得該腰部直徑與該第一直徑及該第二直徑中每一者之間的比率小於或等於 75% 。

【0009】 在另一實施例中，電子裝置包括含二氧化矽基板，其包括大於或等於 $85\ \text{mol}\%$ 的二氧化矽、第一表面、與該第一表面相反的第二表面、及自該第一表面朝向該第二表面延伸穿透該含二氧化矽基板的穿孔。該穿孔包括在該第一表面處具有小於或等於 $100\ \mu\text{m}$ 之直徑的第一直徑、在該第二表面處具有小於或等於 $100\ \mu\text{m}$ 之直徑的第二直徑、及在該第一表面與該第二表面之間的穿孔腰部，其中該穿孔腰部具有小於該第一直徑及該第二直徑之腰部直徑以使得該腰部直徑與該第一直徑及該第二直徑中每一者之間的比率小於或等於 75% 。該電子裝置進一步包括半導體裝置，其係耦接至該含二氧化矽基板，其中該半導體裝置係電耦接至該穿孔。

【0010】 在另一實施例中，基板包括大於或等於 $85\ \text{mol}\%$ 的二氧化矽、第一表面、與該第一表面相反的第二表面、及自該第一表面至該第二表面穿透該基板的破壞軌道。該基板沿該破壞軌道之改質位準在自該第一表面開始

朝向該基板之主體的第一方向上降低，且該基板之該改質位準在自該第二表面開始朝向該基板之該主體的第二方向上降低。該破壞軌道包括緊鄰該第一表面的第一改質段、緊鄰該第二表面的第二改質段、及安置在該第一高度改質段與該第二高度改質段之間的第三改質段。

【0011】 在另一實施例中，物件包括含二氧化矽基板，其包括大於或等於 85 mol% 的二氧化矽、第一表面、與該第一表面相反的第二表面、及自該第一表面朝向該第二表面延伸穿透該含二氧化矽基板的穿孔。該穿孔包括在該第一表面處具有小於或等於 100 μm 之直徑的第一直徑、在該第二表面處具有小於或等於 100 μm 之直徑的第二直徑、及在該第一表面與該第二表面之間的穿孔腰部。該穿孔腰部具有小於該第一直徑及該第二直徑之腰部直徑以使得該第一直徑與該腰部直徑之間的差異與該含二氧化矽基板之厚度的二分之一的比率大於或等於 1/15。

【0012】 本文描述的實施例之另外的特徵及優點將在隨後的詳細說明中闡述，且部分地來說，根據彼描述該等特徵及優點將對熟習此項技術者顯而易見或將藉由實踐如本文(包括隨後的實施方式、申請專利範圍、以及隨附圖式)描述的實施例來識別。

【0013】 應理解，前述一般描述及隨後的詳細描述各種實施例，且意欲提供用於理解所請求項標的之性質及特性的概述或框架。隨附圖式係包括來提供對各種實施例之進一步理解，且併入本說明書中並構成本說明書之一部分。

圖式說明本文描述的各種實施例，且連同說明書一起用以解釋所請求標的之原理及操作。

【圖式簡單說明】

【0014】 圖式中闡述的實施例本質上為說明性及示範性的且並非意欲限制由申請專利範圍限定的標的。說明性實施例之以下詳細說明可在結合以下圖式閱讀時理解，其中相同結構利用相同參考數字指示，且其中：

【0015】 第 1 圖示意地描繪根據本文所述及所示的一或多個實施例的作為插入物的含二氧化矽基板之部分透視圖；

【0016】 第 2 圖示意地描繪根據本文所述及所示的一或多個實施例的示例性電子裝置，其包含安置在電子裝置之間的作為插入物的含二氧化矽基板；

【0017】 第 3 圖示意地描繪根據本文所述及所示的一或多個實施例的穿透含二氧化矽基板的示例性穿孔之尺寸特性；

【0018】 第 4A 圖 - 第 4E 圖示意地描繪根據本文所述及所示的一或多個實施例的穿透含二氧化矽基板的示例性穿孔之形成的演化；

【0019】 第 5 圖示意地描繪根據本文所述及所示的一或多個實施例的藉由使雷射光點掃描穿透含二氧化矽基板之主體同時調節該雷射光點之強度而在含二氧化矽基板內形成破壞軌道之方法；

【0020】 第 6 圖示意地描繪根據本文所述及所示的一

或多個實施例的藉由使用聚焦在定位於含二氧化矽基板之主體內的雷射束焦線中的脈衝雷射束而在含二氧化矽基板內形成破壞軌道之方法；

【0021】 第 7 圖及第 8 圖示意地描繪根據本文所述及所示的一或多個實施例的描繪在第 6 圖中之脈衝雷射束之子脈衝；

【0022】 第 9 A 圖 - 第 9 C 圖以圖形描繪根據本文所述及所示的一或多個實施例的第 6 圖之高斯 - 貝索雷射束焦線之強度分佈，其中最大強度係定位在含二氧化矽基板內的各種位置處；

【0023】 第 10 A 圖及第 10 B 圖以圖形描繪根據本文所述及所示的一或多個實施例的描繪在第 6 圖中的雷射束焦線上的兩個不同的強度分佈；

【0024】 第 11 A 圖 - 第 11 C 圖描繪根據本文所述及所示的一或多個實施例的在含二氧化矽基板內的破壞軌道之數位影像；

【0025】 第 12 圖描繪根據本文所述及所示的一或多個實施例的藉由雷射破壞及蝕刻製程形成的含二氧化矽基板內的具有沙漏形狀之穿孔之數位影像；

【0026】 第 13 A 圖 - 第 13 C 圖以圖形描繪直方圖，其展示根據本文所述及所示的一或多個實施例的藉由雷射破壞及蝕刻製程形成的含二氧化矽基板內的穿孔之第一直徑、第二直徑、及腰部直徑之分佈；

【0027】 第 14 A 圖 - 第 14 C 圖以圖形描繪直方圖，其

展示根據本文所述及所示的一或多個實施例的藉由雷射破壞及蝕刻製程形成的含二氧化矽基板內的穿孔之第一直徑、第二直徑、及腰部直徑之圓度分佈；

【0028】 第 15 A 圖及第 15 B 圖以圖形描繪直方圖，其展示根據本文所述及所示的一或多個實施例的使用雷射束焦線在四個不同的猝發(burst)能量及三個不同的聚焦設定下雷射處理的樣本的腰部缺陷及總缺陷；及

【0029】 第 16 A 圖-第 16 C 圖以圖形描繪直方圖，其展示根據本文所述及所示的一或多個實施例的跨於使用雷射束焦線在四個不同的猝發能量及三個不同的聚焦設定下雷射處理的樣本的穿孔腰部變化。

【實施方式】

【0030】 大體上參考圖式，本揭示內容之實施例大體上係關於包含具有穿孔(例如，孔洞)之含二氧化矽基板的物件，該等穿孔允許包括但不限於穿孔金屬化/電鍍及再分配層(redistribution layer; RDL)之施加的成功下游處理。物件可用於半導體裝置、無線電頻率(RF)裝置(例如，天線、電子開關、及類似物)、插入裝置、微電子裝置、光電裝置、微機電系統(microelectronic mechanical system; MEMS)裝置及其中穿孔可帶來利益的其他應用。

【0031】 本揭示內容之實施例亦大體上係關於用於在含二氧化矽基板中產生穿孔之方法。在一些實施例中，穿孔具有促進電鍍該穿孔的幾何形狀。含二氧化矽基板包括

玻璃及玻璃陶瓷。如本文所使用，術語「含二氧化矽基板」意味著含二氧化矽基板包含大於或等於 75 mol%、大於或等於 80 mol%、大於或等於 85 mol%、大於或等於 90 mol%、大於或等於 91 mol%、大於或等於 92 mol%、大於或等於 93 mol%、大於或等於 94 mol%、大於或等於 95 mol%、大於或等於 96 mol%、大於或等於 97 mol%、大於或等於 98 mol%、大於或等於 99 mol%、或大於或等於 99.9 mol% 的二氧化矽 (SiO_2) 含量。在一些實施例中，含二氧化矽基板可為熔凝二氧化矽。示例性含二氧化矽基板包括但不限於由 Corning Incorporated, Corning, New York 以玻璃代碼 7980、7979、及 8655 出售的 HPFS® 熔凝二氧化矽。在一個實例中，含二氧化矽基板為包含無意摻雜二氧化矽的基板。片語「無意摻雜」意味著在熔融二氧化矽之前沒有另外的成分被有意添加至二氧化矽。

【0032】 二氧化矽之性質使其成為作為電子裝置中之插入物的合乎需要的基板。術語「插入物」大體上係指任何結構，其延伸或完成穿透結構之電連接，例如但不限於在安置於插入物之相反表面上的兩個或兩個以上電子裝置之間的電連接。兩個或兩個以上電子裝置可共同定位在單一結構中或可彼此相鄰地定位在不同結構中，以使得插入物起互連模組之部分或類似物的作用。因此，插入物可含有一或多個有效區域，其中存在並形成穿孔及其他互連導體（諸如，例如，電力、接地、及信號導體）。插入物亦

可包括一或多個有效區域，其中存在並形成盲穿孔。當插入物係利用諸如晶粒、底部填充材料、密封劑、及/或類似物之其他組件形成時，插入物可稱為插入物總成。此外，術語「插入物」可進一步包括複數個插入物，諸如插入物之陣列或類似物。

【0033】 二氧化矽之低熱膨脹係數 (coefficient of thermal expansion; CTE) 最小化含二氧化矽基板歸因於熱通量之施加的膨脹及移動，該熱通量諸如藉由耦接至充當插入物的含二氧化矽基板之半導體裝置產生的熱通量。插入物歸因於插入物與半導體裝置 (或其他電子組件) 之間的 CTE 失配之膨脹可引起該插入物與該半導體之間的黏結以致斷裂且造成分離或其他破壞。

【0034】 另外，含二氧化矽基板提供超過諸如矽之其他基板的合乎需要的 RF 性質。合乎需要的 RF 性質可在高頻應用、諸如高速資料通訊應用中為重要的。

【0035】 因此，包含大於或等於 75 mol%、80 mol%、85 mol%、90 mol%、95 mol%、或 99 mol% 二氧化矽 (SiO_2) 的含二氧化矽基板可為在插入物中，尤其在電子學裝置中的所要材料。然而，含二氧化矽基板之使用在穿孔之特定幾何形狀為所要時存在挑戰，該等幾何形狀包括但不限於沙漏形狀穿孔。沙漏形狀穿孔促進藉由電鍍製程將穿孔金屬化。在電鍍製程期間，電氣導電材料 (例如，銅、銀、鋁、鈦、金、鉑、鎳、鎢、鎂、或任何其他適合的材料) 係沉積在穿孔內。沙漏形狀穿孔具有狹窄腰

部，其具有小於在插入物之表面處的開口之直徑的直徑。在電鍍製程中，沉積金屬首先在腰部位位置處形成金屬橋，且隨後使金屬沉積在橋上以完成填充穿孔以便賦能穿孔之無空隙氣密填充。

【0036】 雷射破壞及蝕刻技術可用於在含二氧化矽材料中形成穿孔。然而，用於在如本文定義的含二氧化矽基板內形成穿孔的習知雷射破壞及蝕刻技術實質上產生圓柱形穿孔(亦即，具有實質上筆直壁的穿孔)。因此，形成在含二氧化矽基板中的穿孔之電鍍使用習知技術可能是不可能的，此係由於缺乏狹窄腰部及形成金屬橋之能力。在含二氧化矽基板中不能產生具有狹窄腰部之穿孔可歸因於氫氟酸之低蝕刻速率，且蝕刻製程不產生不可溶副產物，其阻塞或抑制基板之中部內的蝕刻且導致在表面處的孔洞相對含二氧化矽基板的深內部之間的差分蝕刻速率。應注意，本文揭示的方法不限於包含大於或等於 75 mol% 二氧化矽(SiO_2)的含二氧化矽基板。本文揭示的方法亦可用於具有小於 75 mol% 二氧化矽的玻璃或玻璃陶瓷基板上。例如，本文描述的方法亦可用於在具有小於 75 mol% 二氧化矽(SiO_2)的玻璃或玻璃陶瓷基板中形成狹窄腰部，該玻璃或玻璃陶瓷基板諸如由 Corning Incorporated 出售的 Eagle XG® 玻璃及 Gorilla® 玻璃。

【0037】 本文描述的實施例係關於包含具有藉由雷射破壞及蝕刻製程形成的穿孔的含二氧化矽基板的方法及

物件，該穿孔包括特定內部壁幾何形狀，諸如具有複數個區域之內部壁，該等區域各自具有相異角度進而界定「沙漏」形狀。實施例在含二氧化矽基板中提供實際地及可靠地形成的高品質沙漏形狀穿孔。下文詳細地描述物件、半導體包裝、及在基板中形成具有狹窄腰部的穿孔的方法之各種實施例。

【0038】 現在參考第 1 圖，以部分透視圖示意地描繪包含含二氧化矽基板 100 的示例性物件。含二氧化矽基板 100 包含第一表面 102 及與第一表面 102 相反的第二表面 104。複數個穿孔 110 自第一表面 102 至第二表面 104 延伸穿透含二氧化矽基板 100 之主體。應理解，任何數量之穿孔 110 可以任何佈置延伸穿透含二氧化矽基板 100。含二氧化矽基板 100 之厚度 t 可取決於應用為任何適當的厚度。作為非限制性實例，含二氧化矽基板之厚度 t 在 $50\ \mu\text{m}$ 及 $1\ \text{mm}$ 的範圍內並包括端點、在 $100\ \mu\text{m}$ 及 $700\ \mu\text{m}$ 的範圍內並包括端點、在 $100\ \mu\text{m}$ 及 $500\ \mu\text{m}$ 之範圍內並包括端點、或在 $250\ \mu\text{m}$ 至 $500\ \mu\text{m}$ 的範圍內並包括端點。

【0039】 穿孔 110 的間距，即相鄰穿孔 110 之間的中心至中心間隔，可為根據所要應用的任何尺寸，諸如而不限於，約 $10\ \mu\text{m}$ 至約 $2,000\ \mu\text{m}$ ，包括約 $10\ \mu\text{m}$ 、約 $50\ \mu\text{m}$ 、約 $100\ \mu\text{m}$ 、約 $250\ \mu\text{m}$ 、約 $1,000\ \mu\text{m}$ 、約 $2,000\ \mu\text{m}$ 、或該些值之任何兩個值之間的任何值或範圍（包括端點）。在一些實施例中，同一含二氧化矽基板 100

上的穿孔 110 之間的間距可有所變化(亦即，第一穿孔與第二穿孔之間的間距可不同於第一穿孔與第三穿孔之間的間距)。在一些實施例中，間距可為範圍，諸如約 $10\ \mu\text{m}$ 至約 $100\ \mu\text{m}$ 、約 $25\ \mu\text{m}$ 至約 $500\ \mu\text{m}$ 、約 $10\ \mu\text{m}$ 至約 $1,000\ \mu\text{m}$ 、或約 $250\ \mu\text{m}$ 至約 $2,000\ \mu\text{m}$ 。

【0040】 含二氧化矽基板 100 可為如第 2 圖中示意地說明的電子裝置 200 之插入物。第 2 圖中示意地說明的非限制電子裝置 200 包含耦接至含二氧化矽基板 100 之第一表面 102 的第一電氣組件 201 及耦接至含二氧化矽基板 100 之第二表面 104 的第二電氣組件 203。第一電氣組件 201 及第二電子裝置 203 可配置為任何類型之電氣組件，諸如而不限於半導體裝置、基板、電源、或天線。含二氧化矽基板 100 包括複數個金屬化穿孔 110，其將第一電氣組件 201 電耦接至第二電氣組件 203 以使得電信號及/或電功率可在其之間傳遞。

【0041】 穿透含二氧化矽基板 100 的具有沙漏形狀輪廓的示例性電氣導電穿孔 110 示意地描繪在第 3 圖中。穿孔 110 具有在第一表面 102 處之第一直徑 D_1 ，及在第二表面 104 處的第二直徑 D_2 。示例性穿孔 110 進一步包括沿一段長度之穿孔 110 的縱軸 LA 、內部壁 111、及具有腰部直徑 D_w 之腰部 w ，該腰部直徑 D_w 為穿孔 110 之最小直徑。因此，腰部直徑 D_w 小於第一直徑 D_1 及第二直徑 D_2 兩者。作為非限制性實例，穿孔 110 之輪廓使得腰部直徑 d_w 為第一直徑 D_1 及第二直徑 D_2 中每

一者的小於 75 %、小於 65 %、小於 60 %、小於 55 %、小於 50 %、小於 50 %、小於 45 %、小於 40 %、小於 35 %、小於 30 %、小於 25 %、小於 20 %、小於 15 %、小於 10 %、或小於 5 %。此外，若蝕刻時間減少，則來自兩個表面的孔洞將無法連接，從而導致「盲」穿孔，其為在基板之主體中終止的穿孔。作為非限制性實例，蝕刻後，第一直徑 D_1 及第二直徑 D_2 在 5 μm 至 150 μm 的範圍內並包括端點、在 5 μm 至 100 μm 的範圍內並包括端點、在 20 μm 至 150 μm 的範圍內並包括端點、在 30 μm 至 60 μm 的範圍內並包括端點、或在 40 μm 至 50 μm 的範圍內並包括端點。在一些實施例中，第一直徑 D_1 及第二直徑 D_2 小於或等於 100 μm 、90 μm 、80 μm 、70 μm 、60 μm 、50 μm 、40 μm 、30 μm 、20 μm 、或 10 μm 。第一直徑 D_1 可或可不等於第二直徑 D_2 。

【0042】 第 3 圖之示例性穿孔 110 具有四個相異的錐形區域：第一錐形區域 112、第二錐形區域 113、第三錐形區域 118 及第四錐形區域 119。示例性穿孔 110 具有四個不同的錐角：第一角度 θ_1 、第二角度 θ_2 、第三角度 θ_3 、及第四角度 θ_4 ，其分別相應於第一錐形區域 112、第二錐形區域 113、第三錐形區域 118、及第四錐形區域 119。示例性穿孔 110 進一步由四個段長度表徵：自第一表面 102 延伸至達到第二錐形區域 113 之過渡部分的第一段長度 L_1 、自第一錐形區域 112 與第二錐形區域 113 之間的過渡部分延伸至腰部 w 的第二段長度 L_2 、自

腰部 **w** 延伸至第三錐形區域 118 與第四錐形區域 112 之間的過渡部分的第三段長度 L_3 、及自第三錐形區域 118 與第四錐形區域 119 之間的過渡部分延伸至第二表面 104 的第四段長度 L_4 。

【0043】 第一段長度至第四段長度 $L_1 - L_4$ 可為任何適當的長度且不受本揭示內容的限制。在第 3 圖之實例中，四個段長度中之每一者彼此不同。然而，實施例不限於此。例如，第一段長度 L_1 可等於第四段長度 L_4 及/或第二段長度 L_2 可等於第三段長度 L_3 。

【0044】 應注意，第 3 圖中展示的錐角係在與縱軸 **LA** 平行的各別參考線與穿孔 110 之內部壁 111 之間量測。第一角度 θ_1 係自第一錐形區域 112 之內部壁 111 至縱軸 **LA** 量測。第二角度 θ_2 係自第二錐形區域 113 之內部壁 111 至縱軸 **LA** 量測。第三角度 θ_3 係自第三錐形區域 118 之內部壁 111 至縱軸 **LA** 量測。第四錐角 θ_4 係自第四錐形區域 112 之內部壁 111 至縱軸 **LA** 量測。

【0045】 穿孔 110 相對於縱軸 **LA** 之角度可藉由形成示蹤線 **TL** 來測定，該示蹤線 **TL** 匹配特定錐形區域之內部壁 111 之輪廓。示蹤線可隨後經分析以測定內部壁 111 之一或多個部分(包括各種錐形區域 112、113、118、119)之斜度。例如，如第 3 圖所描繪，示蹤線 **TL** 係以圖形描繪且本文描述的電腦軟體用於測定示蹤線 **TL** 之一或多個線性區域。線性區域係如下定義：(1)區域之長度不小於 $5\ \mu\text{m}$ ，且可大體上大於 $10\ \mu\text{m}$ ；(2)區域可擬

合為線性函數 ($y = a + bx$)，其中 y 為孔洞之半徑且 x 為基板之深度，而擬合殘差之絕對值小於 $1\ \mu\text{m}$ ；及 (3) 任何相鄰區域的擬合函數之斜度應相差至少 0.01 ，就錐角而言係變換為 0.57 度之差異。滿足上文所述的所有標準的區域被稱為具有恆定斜度之區域 (亦即，線性區域)。如第 3 圖所示，示蹤線 **TL** 具有四個相異線性區域：在點 A 與點 B 之間的區域、在點 B 與點 C 之間的區域、在點 C 與點 D 之間的區域、及在點 D 與點 E 之間的區域。因此，點 A 與點 B 之間、點 B 與點 C 之間、點 C 與點 D 之間、及點 D 與點 E 之間的區域之斜度為常數。然而，存在具有非恆定斜度的圍繞每一點 A、B、C、D、及 E 的示蹤線 **TL** 之區域。該些區域可為具有恆定斜度之區域之間的過渡區域，如本文更詳細所述。此種區域可在錐形區域之間存在逐漸過渡之處出現。

【0046】錐形區域中每一者之斜度之間的過渡區域可在其中內部壁 111 的具有恆定斜度之區域結束的任何情況下出現。簡單地參考第 12 圖，以圖形描繪在含二氧化矽基板內形成的穿孔 510，其包含在點 A 與點 B 之間的第一錐形區域 512、在點 C 與點 D 之間的第二錐形區域 513、在點 E 與點 F 之間的第三錐形區域 518、及在點 G 與點 H 之間的第四錐形區域 519。示例性穿孔 510 具有具非恆定斜度的過渡區域，其為具有在點 B 與點 C 之間、在點 D 與點 E 之間、及在點 F 與點 G 之間的示蹤線 1415 的區域。在一些實施例中，過渡區域之斜度與具有

恆定斜度的區域之斜度變化相差大於或等於約 0.57 度、大於或等於約 1 度、大於或等於約 2 度、大於或等於約 3 度、大於或等於約 4 度、或大於或等於約 5 度。

【0047】 如上文所指出，每一錐形區域之恆定斜度可由相對於穿孔之縱軸 **LA** 的角度界定，該縱軸 **LA** 係大體上垂直於第一表面 102 及/或第二表面 104。再一次參考第 3 圖，第一角度 θ_1 及第四角度 θ_4 中之每一者小於第二角度 θ_2 及第三角度 θ_3 中之每一者，此歸因於緊鄰含二氧化矽基板 100 之第一表面 102 及第二表面 104 的強改質材料，及在含二氧化矽基板 100 之主體區域中的更弱改質材料。作為實例而非限制，第一角度 θ_1 及第四角度 θ_4 中之每一者小於 5 度，例如在以下範圍內：大於 0 度及 5 度、大於 0 度及 4 度、大於 0 度及 3 度、大於 0 度及 2 度、1 度及 5 度、1 度及 4 度、1 度及 3 度、1 度及 2 度、2 度及 5 度、2 度及 4 度、2 度及 3 度、或 4 度、3 度、2 度、或 1 度。在第 3 圖之實例中，錐角中之每一者彼此不同。然而，實施例不限於此。例如，第一角度 θ_1 及第四角度 θ_4 可彼此相等，及/或第二角度 θ_2 及第三角度 θ_3 可彼此相等。

【0048】 如上文所指出，腰部 **w** 為穿孔的具有最小直徑 (**D_w**) 之區域。本文描述的穿透基板的穿孔 110 可藉由第一直徑 (或第二直徑) 與腰部直徑之間的差異對含二氧化矽基板之厚度的二分之一的比率大於或等於 1/15 來表徵，如以下關係所提供：

$$\frac{d_1 - d_w}{1/2 t} \geq \frac{1}{15}。$$

【0049】 穿孔 110 可用電氣導電材料藉由諸如濺鍍、電鍍或糊狀物填充的任何已知的或尚未開發的製程來填充。電氣導電材料可為任何適合的材料，諸如而不限於，銅、銀、鋁、鈦、金、鉑、鎳、鎢、或鎂。

【0050】 現在參考第 4A 圖 - 第 4E 圖，示意地說明雷射破壞及蝕刻製程及在具有初始厚度 t_1 的含二氧化矽基板 100 中具有軸向可變側壁錐形的穿孔 110 之製造演化。參考第 4A 圖，破壞軌道 120 係使用自第一表面 102 至第二表面 104 穿透含二氧化矽基板 100 之主體的雷射束形成。作為實例而非限制，破壞軌道 120 具有小於或等於 $1 \mu m$ 的直徑。雷射束沿破壞軌道 120 改質材料。如本文所使用，相對於含二氧化矽基板的術語「改質 (modify)」或「改質 (modification)」意味著材料之折射率改變、材料密度改變、熔融、壓縮、剝蝕、或化學變化。改質亦可包括材料之開裂以產生可促進氣態或液體蝕刻劑之滲透的微觀裂縫或空隙。雷射束形成破壞軌道 120 以使得破壞軌道 120 具有提供不同蝕刻性質之段。含二氧化矽基板 100 之改質位準在緊鄰第一表面 102 及第二表面 104 處最強，且改質位準在沿破壞軌道 120 向含二氧化矽基板 100 之主體中的方向上降低。改質位準影響含二氧化矽基板 100 之蝕刻速率。改質位準越高，含二氧化矽基板 100 之蝕刻速率越快。在本文描述的實

施例中，改質位準係藉由在背光存在下於顯微鏡下評估破壞軌道 120 來測定。在背光存在下，沿破壞軌道 120 之材料越暗改質位準越高。在實施例中，破壞軌道 120 在接近含二氧化矽基板 100 之表面處呈現得越暗（亦即，破壞軌道在該些段中具有高改質位準），且在接近含二氧化矽基板 100 之中間處呈現得越亮（亦即，破壞軌道在該些段相較於緊鄰表面之該等段具有低改質位準）。下文更詳細描述的第 11A 圖說明在顯微鏡下在背光含二氧化矽基板 100 中的變化材料改質位準的破壞軌道 120、120'、120" 之外觀。

【0051】 在第 4A 圖之實例中，破壞軌道 120 包括四個段，每一者具有不同的改質位準及因此不同的蝕刻性質：第一改質段 120A、第二改質段 120B、第三改質段 120C、及第四改質段 120D。應理解，各種段之間的改質位準可不為離散的。實情為，改質位準可沿破壞軌道 120 逐漸地變化。因此，改質位準可在破壞軌道 120 之個別段內變化。

【0052】 如上文所指出，破壞軌道 120 經配置以使得最高改質位準緊鄰含二氧化矽基板 100 之第一表面 102 及第二表面 104 出現。因此，第一改質段 120A 及第四改質段 120D 為高度改質段。第二改質段 120B 及第三改質段 120C 為改質最少段，因為其具有小於第一段 120A 及第四段 120D 之彼改質位準的改質位準。雖然第二段 120B 及第三段 120C 係說明為個別段，但在一些

實施例中，第二段 120B 及第三段 120C 為單一、改質最少段，其具有小於第一改質段 120A 及第四改質段 120D 之改質位準的改質位準。

【0053】 關於用於形成破壞軌道的雷射束性質之詳情在下文關於第 5 圖 - 第 8 圖論述。

【0054】 在形成破壞軌道 120 之後，含二氧化矽基板 100 係藉由蝕刻溶液之施加來蝕刻。在實例中，含二氧化矽基板 100 係安置在蝕刻溶液之浴中。替代地，蝕刻溶液可噴射在含二氧化矽基板 100 上。蝕刻溶液之類型不受本揭示內容的限制。可使用任何已知或尚未開發的能夠蝕刻含二氧化矽基板的蝕刻溶液。在一個實例中，蝕刻溶液包含氫氟酸 (HF) 或氫氧化鈉 / 氫氧化鉀。作為特定實例，用於蝕刻熔凝二氧化矽之蝕刻溶液包括 20 體積 % HF 或 20 體積 % HF 與 12 體積 % HCl 在約 47 攝氏度下提供約 $0.005\ \mu\text{m}/\text{秒}$ 之蝕刻速率。可進行溫度調整 (例如，10 攝氏度至 50 攝氏度) 及酸濃度調整以改變蝕刻速率。其他礦物酸可替代 HCl，諸如硝酸 (HNO_3)。亦可能使用氫氧化物蝕刻劑，諸如氫氧化鈉 (NaOH) 及氫氧化鉀 (KOH)。

【0055】 蝕刻溶液在含二氧化矽基板 100 之第一表面 102 及第二表面 104 中之每一者處以如第 4B 圖中所示的量蝕刻掉材料。破壞軌道 120 之強改質第一段 120A 及第四段 120D 內破壞的材料係以比破壞軌道 120 外部的非破壞區域更快的速率蝕刻。歸因於破壞材料的此更快

蝕刻速率引起第一導孔 115 在第一表面 102 處打開且沿破壞軌道之第一段 120A 延伸穿透含二氧化矽基板 100 之主體，且第二導孔 117 在第二表面 104 處打開且沿破壞軌道 120 之第四段 120D 延伸穿透含二氧化矽基板 100 之主體。如第 4C 圖所示，第一導孔 115 及第二導孔 117 在含二氧化矽基板 100 之主體中延伸得較深，且含二氧化矽基板 100 係藉由增加量 Δs 來進一步薄化。

【0056】現在參考第 4D 圖，含二氧化矽基板 100 之持續蝕刻引起第一導孔 115 之直徑增加且向第一錐形區域 112 中打開，及第二導孔 117 之直徑增加且向第四錐形區域 119 中打開。含二氧化矽基板 100 之第一表面 102 及第二表面 104 係藉由增加量 Δs 進一步薄化。此時，蝕刻溶液達到破壞軌道 120 之第二段 120B 及第三段 120C。第二段 120B 向第二錐形區域 113 中打開，且第三段 120C 向第三錐形區域 118 中打開。因為材料之改質位準在第二段 120B 及第三段 120C 中比在第一段 120A 及第四段 120D 中更低，所以蝕刻速率在第二段 120B 及第三段 120C 中比在第一段 120A 及第四段 120D 中更慢。如第 4D 圖所示，沿破壞軌道 120 的改質位準之差異引起第二錐形區域 113 及第三錐形區域 118 相對於縱軸 LA 之角度大於第一錐形區域 112 及第四錐形區域 119 之角度。

【0057】第二錐形區域 113 及第三錐形區域 118 在腰部 w 處相遇。腰部 w 為穿孔 110 之最狹窄區域，且為其

中在電鍍製程期間金屬橋形成的位置。現在參考第 4 E 圖，展示熔凝基板內的具有最終厚度 t_F 的完成的示例性穿孔 110。如所示，穿孔 110 具有軸向可變側壁錐形，其產生相異段，以及狹窄腰部 w ，該狹窄腰部 w 提供在電鍍製程期間用於金屬橋形成的位置。

【0058】 含二氧化矽基板 100 的具有變化改質位準的本文描述的破壞軌道 120 可藉由各種雷射製程形成。在第 5 圖說明的實例中，破壞軌道 120 係藉由使雷射束 150 之聚焦雷射光點 LS 在方向 z 上掃描穿透含二氧化矽基板 100 之厚度 t 來在含二氧化矽基板 100 中形成，其中雷射束之功率在掃描期間如圖 152 所示經調節以在離含二氧化矽基板 100 之表面的不同深度處產生不同的材料改質(亦即，破壞)位準。雷射功率在聚焦雷射光點 LS 處於含二氧化矽基板 100 之主體內(亦即，接近中部)時比在聚焦雷射光點 LS 定位成接近於含二氧化矽基板 100 之第一表面 102 及第二表面 104 時更低。然而，此方法將需要許多連續的雷射曝光以形成穿透含二氧化矽基板 100 之完整厚度的破壞軌道 120，從而可使得製程變慢。

【0059】 參考第 6 圖，在另一實例中，破壞軌道 120 係藉由脈衝雷射束 302a 形成，該脈衝雷射束 302a 係聚焦成雷射束焦線 302b，其經定位穿透含二氧化矽基板 100 之主體。雷射束焦線在含二氧化矽基板 100 內產生誘導的多光子吸收。多光子誘導吸收沿雷射束焦線 302b 在含二氧化矽基板內產生材料改質，進而形成破壞軌道

120。雷射束焦線 302b 係藉由光學器件 306 產生，如第 6 圖中描繪的非限制性實例，該光學器件 306 為圓錐透鏡(亦即，旋轉三稜鏡)。用於產生並使用雷射束焦線以鑽鑿玻璃基板的方法之另外的描述提供於美國專利第 9,517,963 號中，其係以全文引用方式併入本文。

【0060】 光學器件 306 將雷射束形成為伸長的焦點、或準非繞射束，從而產生類貝索或高斯-貝索束。由於束之準非繞射性質，光在比利用更常用的高斯束所達成者長的多的範圍上維持緊密聚焦強度，從而允許玻璃基板之完全厚度 t 藉由雷射脈衝之單一猝發脈衝或時間接近的猝發系來破壞。

【0061】 為改質含二氧化矽基板且產生破壞軌道，脈衝雷射束之波長應對含二氧化矽基板材料而言為透明的。脈衝持續時間及強度應足夠短以達成上文所述的多光子吸收效應。可使用超短脈衝雷射器，諸如皮秒或飛秒雷射源。在一些實施例中，可使用約 10 皮秒的脈衝雷射器。作為實例而非限制，利用在約 1 mm 與約 3 mm 之間的程度的線焦點及在 200 kHz (250 μ J/脈衝)之重複率下產生大於約 50 W 之輸出功率的約 10 皮秒脈衝雷射器，則線區域中的光學強度可為足夠高的以便在含二氧化矽基板中產生非線性吸收。

【0062】 應注意，本文描述的此種皮秒雷射之操作產生「脈衝猝發」5 之子脈衝 5a。第 7 圖描繪三個子脈衝 5a、5a'、及 5a'' (共同地稱為「5a」)。產生脈衝猝發係一

種類型的雷射操作，其中脈衝之發射不呈均勻及穩定流而是呈子脈衝之緊密群集。每一脈衝猝發含有多個具有極短持續時間的個別子脈衝 5a (諸如，而不限於，至少 2 個子脈衝、至少 3 個子脈衝、至少 4 個子脈衝、至少 5 個子脈衝)。亦即，脈衝猝發 5 為子脈衝 5a 之「包」，且脈衝猝發 5 係彼此分離比每一猝發內的個別相鄰脈衝之分離更長的持續時間。參考第 8 圖，其將第 7 圖之子脈衝 5a 的雷射發射相對時間進行繪圖，子脈衝可具有脈衝持續時間 T_a ，其多至 100 psec (例如，0.1 psec、5 psec、10 psec、15 psec、18 psec、20 psec、22 psec、25 psec、30 psec、50 psec、75 psec、或其之間的持續時間)。單脈衝猝發 5 內的該些個別子脈衝 (例如，子脈衝 5a、5a'、及 5a'') 在本文係稱為子脈衝以表示其發生在單一脈衝猝發內。脈衝猝發 5 內的每一個別子脈衝 5a、5a'、5a'' 之能量或強度可不等於脈衝猝發內的其他子脈衝之彼能量或強度，且脈衝猝發內的多個子脈衝之強度分佈常常在時間上遵循由雷射設計控制的指數衰變。

【0063】 本文描述的示範性實施例之脈衝猝發 5 內的每一子脈衝 (例如，子脈衝 5a、5a'、5a'') 在時間上與猝發中的後續子脈衝分離 1 nsec 至 50 nsec 的持續時間 t_p (例如，10-50 nsec、或 10-30 nsec，其中時間常常取決於雷射空腔設計)。對於給定雷射，脈衝猝發 5 內的每一子脈衝之間的時間分離 t_p (子脈衝至子脈衝分離) 為相對均勻的 ($\pm 10\%$)。例如，在一些實施例中，脈衝猝

發內的每一子脈衝可與後續子脈衝在時間上分離大致 20 nsec (50 MHz)。例如，對於產生約 20 nsec 之子脈衝分離 t_p 的雷射而言，脈衝猝發內的子脈衝至子脈衝分離 t_p 係維持在約 $\pm 10\%$ 內，或約 $\pm 2\text{ nsec}$ 。

【0064】 已觀察到，過多的子脈衝產生圓柱形狀的穿孔。特定而言，提供 $80\text{ }\mu\text{J}$ 能量的十五個子脈衝猝發產生圓柱形狀的穿孔，而提供 $50\text{ }\mu\text{J}$ 的五個子脈衝猝發產生沙漏形狀穿孔。前者每子脈衝具有較低能量，但將產生穿透含二氧化矽基板之厚度的極均勻的破壞軌道，而後者每子脈衝具有較大能量但將產生穿透含二氧化矽基板之厚度的更不均勻的破壞軌道，其中在接近玻璃表面處觀察到較強破壞，且在接近含二氧化矽基板之中部處觀察到較弱破壞。

【0065】 雷射束焦線 302b 典型地具有均勻強度。然而，在本文所述的實施例中，雷射束猝發之能量之量及數量經控制以提供沿所要破壞軌道 120 的不均勻改質位準。換言之，隨含二氧化矽基板 100 內的深度變化的破壞模式係不均勻的。觀察到的是接近含二氧化矽基板 100 之表面、尤其在每一表面之 $100\text{ }\mu\text{m}$ 內的材料改質之量與含二氧化矽基板 100 之中部(中心)的破壞顯著不同且比其更強。如在利用背光的顯微鏡下觀察到的，接近含二氧化矽基板 100 之表面的區域典型地呈現得極暗，從而指示較大的光散射及材料改質，而接近含二氧化矽基板 100 之中心的區域呈現為顏色亮或破碎的暗區域，從而指示較

少的光散射及因此較弱或更小的空間上一致的材料改質。另外，接近含二氧化矽基板 100 之表面的區域將常常展現實際孔洞，或其中材料已自基板彈出/剝蝕的區域，從而可提供供化學蝕刻劑滲透的簡易路徑。

【0066】 接近表面的較強破壞之此種效應在雷射束焦線 302b 之雷射能力減少至僅僅高於改質含二氧化矽基板 100 需要的閾值時，諸如高於閾值 60 % 內、高於閾值 65 % 內、高於閾值 55 % 內、高於閾值 50 % 內、高於閾值 45 % 內、高於閾值 40 % 內、高於閾值 35 % 內、高於閾值 30 % 內、高於閾值 25 % 內、高於閾值 20 % 內、高於閾值 15 % 內、或高於閾值 10 % 內時，係尤其明顯。如本文所使用的，術語「閾值」意味著在基板上使用雷射束焦線產生表面破壞需要的最低能量。在此種情形中，最接近表面的區域將仍展現暗的破壞區域，但含二氧化矽基板之中部將在一些情況下根本不展示明顯的破壞區域或改質區域。如上文所述，利用非繞射束觀察到的隨深度變化的此差分破壞效應可利用來在含二氧化矽基板中形成錐形穿孔，其中此等穿孔形狀在另外情況下係不可能的。作為非限制性實例，脈衝雷射束之操作範圍為針對五個子脈衝在 40 μJ 至 55 μJ 之範圍內並包括端點，或在 45 μJ 至 50 μJ 之範圍內並包括端點。

【0067】 有可能改變雷射束焦線之最大強度之位置來變換穿孔之腰部 w 之位置。第 9A 圖將雷射束焦線穿透含二氧化矽基板 100 之強度 305 繪圖，且說明在示例性

含二氧化矽基板 400 中之所得穿孔 410。如第 9A 圖所示，將最大強度 305 定位在含二氧化矽基板 100 之中心處產生穿孔 410，其在蝕刻製程之後具有在含二氧化矽基板 400 之中心的腰部。

【0068】 第 9B 圖以圖形說明雷射束焦線之最大強度 305 向含二氧化矽基板 100 之第一表面 102 的變換。第 9B 圖進一步說明示例性含二氧化矽基板 400'，其在蝕刻製程之後具有穿孔 410'，其具有比第一表面 402 更接近於第二表面 404 的腰部。第 9C 圖以圖形說明雷射束焦線之最大強度 305 向含二氧化矽基板 100 之第二表面 104 的變換。第 9C 圖進一步說明示例性含二氧化矽基板 400"，其在蝕刻製程之後具有穿孔 410"，其具有比第二表面 404 更接近於第一表面 402 的腰部。變換腰部 w 導致關於穿過含二氧化矽基板 100 之中心的平面的不對稱穿孔。

【0069】 應注意，不要求使得接近含二氧化矽基板 100 之表面的準非繞射束(例如，雷射束焦線 302b)之光學強度為更強的。然而，有可能設計諸如類 waxicon 之元件的光學器件，從而沿束傳播方向產生客製的光學能量分佈。在此種情況下，雷射束焦線 302b 之光學強度可在接近熔凝基板表面處增強，而在含二氧化矽基板之中部產生較低強度區域。用於客製雷射束焦線之能量分佈的示例性光學器件係描述在美國專利申請案第 62/381,345 號中。

【0070】 第 10A 圖及第 10B 圖以圖形描繪穿透含二氧

化矽基板 100 的兩個雷射束焦線之強度分佈的操縱。在第 10A 圖中，雷射束焦線之強度分佈 305' 具有矩形、「頂帽」形狀。此強度分佈 305' 可藉由例如 waxicon 光學器件形成，且可在緊鄰含二氧化矽基板之表面產生比第 9A 圖 - 第 9C 圖中描繪的高斯分佈更強的改質。在第 10B 圖中描繪的強度分佈 305" 中，具有緊鄰含二氧化矽基板 100 之第一表面 102 及第二表面 104 的兩個最大峰值，其在緊鄰第一表面 102 及第二表面 104 處比在含二氧化矽基板之中部產生更強的改質。第 10B 圖之雷射束焦線在雷射束焦線之第一端部及雷射束焦線之第二末端處具有比雷射束焦線之中心區域更大的強度。慣用的光學期間可用以產生第 10B 圖中描繪的強度分佈 305"。

【0071】 增強接近含二氧化矽基板之表面的雷射破壞 / 改質的其他方法包括加熱或冷卻表面以具有溫度梯度，諸如經由施加熱空氣流來進行，且因此繼而具有穿透玻璃厚度的差分雷射 / 玻璃相互作用。

實例

【0072】 使用配備在 532 nm 波長下操作的 Coherent Hyper-Rapid-50 皮秒雷射器之系統將 50 mm x 50 mm 的具有 0.36 mm 厚度的 Corning 代碼 7980 熔凝二氧化矽基板雷射破壞。束遞送光學器件經配置以產生高斯 - 貝索雷射束焦線，其具有沿束傳播軸的 0.74 mm 半高寬之光學強度分佈，及直徑為 1.2 μm 之光點大小，如藉由束之類貝索橫截面分佈中的第一零位或

強度最小值之直徑所量測。每一破壞軌道係藉由將含二氧化矽基板曝露於 $50\ \mu\text{J}$ 的含有五個雷射脈衝之雷射猝發而形成，每一雷射脈衝具有 $7.2\ \text{psec}$ 之持續時間且每一猝發內部的脈衝之間的時間間隔為 $20\ \text{ns}$ 。雷射處理的含二氧化矽基板隨後在具有 $20\%\ \text{HF}$ ($\text{vol}\%$) 及 $12\%\ \text{HCl}$ ($\text{vol}\%$) 之靜態(無實體攪動、無超音波)浴中於 47°C 下蝕刻。主體蝕刻速率為 $0.0046\ \mu\text{m}/\text{s} - 0.005\ \mu\text{m}/\text{s}$ 。

【0073】 第 11A 圖展示在低放大率下，在蝕刻之前樣本處於背光下，在 $0.36\ \text{mm}$ 厚熔凝二氧化矽基板中製得的所得破壞軌道 120、120' 及 120'' 之影像。第 11A 圖之影像中的破壞軌道之側向間隔(亦即，間距)為 $150\ \mu\text{m}$ 。自第 11A 圖之光學顯微鏡影像清楚的是，每一破壞軌道具有接近第一表面 102(第一改質區段)及第二表面 104(第二改質區段)的更強改質區段(光學顯微鏡影像中之較暗線性特徵，兩個水平虛線上方及下方)，及在玻璃之中部的較弱第三改質區段(光學顯微鏡影像中之較亮線性特徵，在兩個水平虛線之間)。因此，第三改質區段之改質位準小於第一改質區段及第二改質區段之改質位準。在第 11B 圖(第一表面 102)及第 11C 圖(第二表面 104)之高放大率影像中更清楚地揭露差異。

【0074】 破壞軌道 120、120'、120'' 各自具有至少第一段 120A、120A'、120A''，第二段 120B、120B'、120B''，及第三段 120C、120C'、120C''。

【0075】 應注意，破壞軌道強度之差異不藉由形成準非繞射束(高斯-貝索)之光學器件產生的光學強度差異來解釋。使用高NA顯微鏡物鏡及沿光軸掃描的CCD攝像機量測焦線強度，且經展示密切地遵循高斯-貝索強度分佈。焦點之位置係設定來在接近含二氧化矽基板之中心達成接近最大強度，而接近表面中之每一者達成稍微減少的強度。穿透0.35 mm厚玻璃之深度的此焦線的預期強度變化為大致6-8%。

【0076】 第12圖展示在實例之蝕刻製程之後蝕刻穿孔510之側視圖光學顯微鏡影像。如所示，穿孔110具有具狹窄腰部w的沙漏形狀。穿孔510具有類似於示意地描繪在第5圖中的示例性穿孔110的內部壁輪廓。參考第5圖及第12圖，穿孔510具有以下內部壁輪廓： $\theta_1 = \theta_4 = 1^\circ$ ， $\theta_2 = \theta_3 = 8^\circ$ ； $L_1 = L_4 = 62 \mu m$ ， $L_2 = L_3 = 88 \mu m$ ；第一直徑 $D_1 = 49.5 \mu m$ ；第二直徑 $D_2 = 51.2 \mu m$ ；及 $D_w = 25.7 \mu m$ 。在此情況下，破壞軌道關於熔凝基板厚度之中間平面為大致對稱的且產生關於水平中心線之對稱的穿孔，如與第3圖中說明的情況相反的。

【0077】 利用此製程製得的含二氧化矽基板在部分位準處展現極低的穿孔至穿孔變化。此指示製程係穩定的且不受雷射能量或系統焦點的任何小變化的不當影響。對於10000個穿孔之頂部、腰部及底部，直徑及圓度兩者都得到極好控制，如第13A圖-第13C圖及第14A圖-第14C圖所示。針對大量孔洞而言，第13A圖為展示第一

直徑之直方圖，第 13 B 圖為展示第二直徑之直方圖，且第 13 C 圖為展示腰部直徑之直方圖，如每一圖表中所指示。尺寸控制經證實對第一直徑好於 $\pm 1\%$ 、對第二直徑好於 $\pm 2.5\%$ 、及對腰部直徑好於 $\pm 6\%$ 。

【0078】 穿孔品質之另一度量為圓度，其可針對每一穿孔之第一直徑(第 14 A 圖)、第二直徑(第 14 B 圖)、及腰部直徑(第 14 C 圖)來加以量測。如本文所使用，圓度係藉由將圓擬合至穿孔之顯微鏡影像來測定。如自上方(例如，在各別直徑下，自穿孔之顯微鏡影像)檢視，取 $H = \{h_1, h_2, \dots, h_n\}$ 作為在第一直徑、第二直徑、或腰部直徑處沿穿孔之邊緣識別的點 $h_i = (x_i, y_i)$ 之集合。點可無限制地處於每像素大致 $1 \mu m$ 之解析度下。可確切地評估一個最小二乘擬合圓。此圓之中心點 $C = (x_c, y_c)$ 及其半徑 R 最小化量 $\sum_{i=1}^n (\sqrt{(x_c - x_i)^2 + (y_c - y_i)^2} - R)^2$ 。給定距離(直徑)集 $d_i = \text{dist}(h_i, C)$ ，可得出最小值 d_{min} 及最大值 d_{max} 。差異 $d_{max} - d_{min}$ 係在本文稱為圓度。因此，所有距離 d_i 都相等的理論上完美的圓將具有 d_{min} 及 d_{max} 之等效值且產生為零之圓度值。較大之圓度值指示較少的圓形孔洞。

【0079】 第 15 A 圖為利用四個不同猝發能量之樣本的腰部缺陷之直方圖。具有過大圓度之穿孔為形成得太具橢圓形或形成不良的穿孔。第 15 B 圖為利用四個不同猝發能量的樣本之總缺陷(盲穿孔、具有大於 $5 \mu m$ 之入口或第二直徑或腰部圓度大於 $5 \mu m$ 的穿孔)之直方圖。第

16 A 圖(平均)及第 16 B 圖(標準偏差)為展示跨於利用不同猝發能量及焦點條件製得的樣本之一部件的穿孔腰部變化之直方圖。第 16 C 圖為展示針對不同猝發能量及焦點條件的在腰部直徑與第一直徑之間的比率之直方圖。

【0080】 如第 15 A 圖及第 15 B 圖及第 16 A 圖 - 第 16 C 圖所示，如由具有超過 $5\ \mu\text{m}$ 之圓度的穿孔之百分比所定義，藉由此製程製得的部件具有極低的缺陷率，其在合理的製程窗內(第 15 A 圖及第 15 B 圖)，且腰部開口僅具有在製程窗內的小變化(第 16 A 圖 - 第 16 C 圖)，兩者皆指示製程為穩定的。另外，第 16 A 圖 - 第 16 C 圖展示 35% - 45% 的腰部直徑 / 第一直徑比率可使用 $5\ \mu\text{J}$ 能量及 $100\ \mu\text{m}$ 製程窗來達成。

【0081】 現應理解，本文描述的實施例提供方法及物件，其在諸如高純度含二氧化矽基板的含二氧化矽基板中提供沙漏形狀穿孔。沙漏形狀穿孔可例如使用電鍍製程金屬化。沙漏形狀穿孔係藉由雷射破壞及蝕刻製程形成，藉由該雷射破壞及蝕刻製程在蝕刻之前在含二氧化矽基板中形成客製的破壞軌道。破壞軌道在緊鄰含二氧化矽基板之表面處比含二氧化矽基板之主體 / 中部具有更強的材料改質。客製破壞軌道產生具有界定腰部的錐形區域之蝕刻穿孔。腰部可充當在穿孔內生長內部金屬層之金屬橋。具有沙漏形狀穿孔的含二氧化矽基板可用作諸如高頻率電子裝置之電子裝置中之插入物。

【0082】 熟習此項技術者將明白，在不脫離所請求標的

之精神及範疇的情況下，可對本文描述的實施例做出各種修改及變化。因此，說明書意欲涵蓋本文描述的各種實施例之修改及變化，前提是此種修改及變化屬於隨附申請專利範圍及其等效物之範疇內。

【符號說明】

【 0 0 8 3 】

5 脈衝猝發

5 a 子脈衝

5 a' 子脈衝

5 a'' 子脈衝

1 0 0 含二氧化矽基板

1 0 2 第一表面

1 0 4 第二表面

1 1 0 電氣導電穿孔

1 1 1 內部壁

1 1 2 第一錐形區域

1 1 3 第二錐形區域

1 1 5 第一導孔

1 1 7 第二導孔

1 1 8 第三錐形區域

1 1 9 第四錐形區域

1 2 0 破壞軌道

1 2 0' 破壞軌道

1 2 0'' 破壞軌道

1 2 0 A 第一改質段

1 2 0 A' 第一段

1 2 0 A'' 第一段

1 2 0 B 第二改質段

1 2 0 B' 第二段

1 2 0 B'' 第二段

1 2 0 C 第三改質段

1 2 0 C' 第三段

1 2 0 C'' 第三段

1 2 0 D 第四改質段

1 5 0 雷射束

1 5 2 圖

2 0 0 電子裝置

2 0 1 第一電氣組件

2 0 3 第二電氣組件

3 0 2 a 脈衝雷射束

3 0 2 b 雷射束焦線

3 0 5 強度

3 0 5' 強度分佈

3 0 5'' 強度分佈

3 0 6 光學器件

4 0 0 含二氧化矽基板

4 0 0' 含二氧化矽基板

4 0 0'' 含二氧化矽基板

4 0 2 第一表面

4 0 4 第二表面

4 1 0 穿孔

4 1 0' 穿孔

4 1 0'' 穿孔

5 1 0 穿孔

5 1 2 第一錐形區域

5 1 3 第二錐形區域

5 1 8 第三錐形區域

5 1 9 第四錐形區域

A 點

B 點

C 點

D 點

D_1 第一直徑

D_2 第二直徑

D_w 腰部直徑

E 點

F 點

G 點

H 點

L_1 第一段長度

L_2 第二段長度

L_3 第三段長度

L_4 第四段長度

L_A 縱軸

L_S 聚焦雷射光點

t 時間

t_F 最終厚度

t_p 持續時間

T_d 脈衝持續時間

w 腰部

Z 方向

θ_1 第一角度

θ_2 第二角度

θ_3 第三角度

θ_4 第四角度

【生物材料寄存】

【 0 0 8 4 】 國內寄存資訊 (請依寄存機構、日期、號碼順序註記)

無

【 0 0 8 5 】 國外寄存資訊 (請依寄存國家、機構、日期、號碼順序註

記)

無



201917106

【發明摘要】

【中文發明名稱】 具有具軸向可變側壁錐形的穿孔的含二氧化矽基板及其形成方法

【英文發明名稱】 SILICA-CONTAINING SUBSTRATES WITH VIAS HAVING AN AXIALLY VARIABLE SIDEWALL TAPER AND METHODS FOR FORMING THE SAME

【中文】

本案揭示包括具有狹窄腰部的穿孔的含二氧化矽基板，及相關裝置及方法。在一個實施例中，物件包括含二氧化矽基板，其包括大於或等於 85 mol% 的二氧化矽、第一表面、與該第一表面相反的第二表面、及自該第一表面朝向該第二表面延伸穿透該含二氧化矽基板的穿孔。該穿孔包括在該第一表面處的小於或等於 100 μm 的第一直徑、在該第二表面處的小於或等於 100 μm 的第二直徑、及在該第一表面與該第二表面之間的穿孔腰部。該穿孔腰部具有小於該第一直徑及該第二直徑的腰部直徑以使得該腰部直徑與該第一直徑及該第二直徑中每一者之間的比率小於或等於 75 %。

【英文】

Silica-containing substrates including vias with a narrow waist, and related devices and methods are disclosed. In one embodiment, an article includes a silica-containing substrate including greater than or equal to 85 mol% silica, a first surface, a second surface opposite the first surface, and a via extending through the silica-containing substrate from the first surface toward the second surface. The via includes a first

diameter less than or equal to $100\ \mu\text{m}$ at the first surface, a second diameter less than or equal to $100\ \mu\text{m}$ at the second surface, and a via waist between the first surface and the second surface. The via waist has a waist diameter that is less than the first diameter and the second diameter such that a ratio between the waist diameter and each of the first diameter and the second diameter is less than or equal to 75%.

【指定代表圖】第(3)圖。

【代表圖之符號簡單說明】

100 含二氧化矽基板

102 第一表面

104 第二表面

110 電氣導電穿孔

111 內部壁

112 第一錐形區域

113 第二錐形區域

118 第三錐形區域

119 第四錐形區域

A 點

B 點

C 點

D 點

D_1 第一直徑

D_2 第二直徑

D_w 腰部直徑

E 點

L_1 第一段長度

L_2 第二段長度

L_3 第三段長度

L_4 第四段長度

L_A 縱軸

θ_1 第一角度

θ_2 第二角度

θ_3 第三角度

θ_4 第四角度

【特徵化學式】

無

【發明申請專利範圍】

【第1項】 一種用於處理一基板之方法，該基板包含二氧化矽、一第一表面、及與該第一表面相反的一第二表面，該方法包含以下步驟：

使用一雷射束形成穿透該基板自該第一表面至該第二表面的一破壞軌道，其中該基板的沿該破壞軌道之一改質位準在自該第一表面開始朝向該基板之一主體的一第一方向上降低，且該基板之該改質位準在自該第二表面開始朝向該基板之該主體的一第二方向上降低以使得該破壞軌道包含：

緊鄰該第一表面的一第一高度改質段；

緊鄰該第二表面的一第二高度改質段；及

安置在該第一高度改質段與該第二高度改質段之間的一最少改質段；及

使用一蝕刻溶液蝕刻該基板以形成包含在該第一表面處之一第一直徑、在該第二表面處之一第二直徑、及在該第一表面與該第二表面之間具有一腰部直徑的一穿孔腰部的一穿孔，其中該腰部直徑小於該第一直徑且小於該第二直徑。

【第2項】 如請求項 1 所述之方法，其中該基板包含至少 75 mol% 的二氧化矽。

【第3項】 如請求項 1 或 2 所述之方法，其中該穿孔腰

部係定位成相比該第一表面及該第二表面之一者更接近於該第一表面或該第二表面之另一者。

【第4項】 如請求項 1 所述之方法，其中

該穿孔包含一縱軸、一內部壁、位於該第一表面與該穿孔腰部之間的一第一錐形區域及位於該第二表面與該穿孔腰部之間的一第二錐形區域；

該第一錐形區域包含在該第一錐形區域內的該內部壁與該縱軸之間量測的一第一角度；及

該第二錐形區域包含在該第二錐形區域內之該內部壁與該縱軸之間量測的一第二角度。

【第5項】 如請求項 1 所述之方法，其中該雷射束經操作以使得：

該破壞軌道包含位於該最少改質段與該第二高度改質段之間的一另外最少改質段；及

該另外最少改質段之該改質位準小於該第一高度改質段及該第二高度改質段之該改質位準。

【第6項】 如請求項 5 所述之方法，其中：

該穿孔包含：

一縱軸；

一內部壁；

定位成緊鄰該第一表面之一第一錐形區域，該第一錐形區域包含在該第一錐形區域內之該內部壁與

該縱軸之間量測的一第一角度；

位於該第一錐形區域與該穿孔腰部之間的一第二錐形區域，該第二錐形區域包含在該第二錐形區域內之該內部壁與該縱軸之間量測的一第二角度；

相鄰該穿孔腰部之一第三錐形區域，該第三錐形區域包含在該第三錐形區域內之該內部壁與該縱軸之間量測的一第三角度；及

位於該第三錐形區域與該第二表面之間的一第四錐形區域，該第四錐形區域包含在該第四錐形區域內之該內部壁與該縱軸之間量測的一第四角度；及

該第二角度及該第三角度中之每一者小於該第一角度及該第四角度。

【第7項】如請求項1所述之方法，其中

該雷射束包含一脈衝雷射束，其係聚焦成經定位穿透該基板之該主體的一雷射束焦線；且

該雷射束焦線在該基板內產生一誘導多光子吸收，該多光子誘導吸收在該基板內沿該雷射束焦線產生一材料改質，進而形成該破壞軌道。

【第8項】如請求項7所述之方法，其中該雷射束焦線之一最大強度係定位成相比該第一表面及該第二表面之一者更接近於該第一表面或該第二表面之另一者。

【第9項】如請求項7或8所述之方法，其進一步包含

以下步驟：調整該第一表面及該第二表面之一或多者的一溫度同時使用該雷射束形成該破壞軌道。

【第10項】 如請求項7所述之方法，其進一步包含以下步驟：操作該雷射束以使得該雷射束焦線在該雷射束焦線之一第一端部處及該雷射束焦線之一第二末端處具有比該雷射束焦線之一中心區域更大的一強度。

