



(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 I816897 B

(45)公告日：中華民國 112 (2023) 年 10 月 01 日

(21)申請案號：108135498

(22)申請日：中華民國 108 (2019) 年 10 月 01 日

(51)Int. Cl. : **B23K26/38 (2014.01)****B23K26/57 (2014.01)****B28D5/00 (2006.01)**

(30)優先權：2018/10/08 美國

62/742,694

(71)申請人：美商伊雷克托科學工業股份有限公司 (美國) ELECTRO SCIENTIFIC INDUSTRIES, INC. (US)

美國

(72)發明人：松本久 MATSUMOTO, HISASHI (JP)；克雷能特 傑恩 KLEINERT, JAN (DE)；
林智斌 LIN, ZHIBIN (CN)

(74)代理人：閻啓泰；林景郁

(56)參考文獻：

TW 201536462A

CN 104759764B

CN 108161250A

US 2015/0246415A1

審查人員：蔣國珍

申請專利範圍項數：19 項 圖式數：8 共 28 頁

(54)名稱

用於在基板中形成穿孔的方法

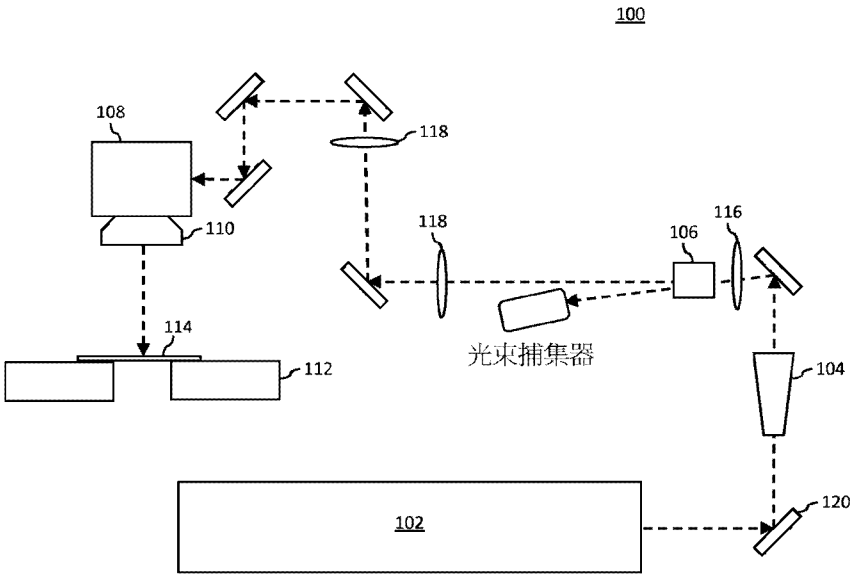
(57)摘要

一種用於在具有相對的第一表面及第二表面的基板中形成穿孔的方法，其可包括將雷射脈衝的一聚焦光束導引至該基板中穿過該基板之該第一表面且隨後穿過該基板之該第二表面。雷射脈衝的該聚焦光束可具有一波長，該基板對於該波長至少實質上是透明的，且雷射脈衝的該聚焦光束的光束腰部相比於該第一表面更接近於該第二表面。雷射脈衝的該聚焦光束之特徵在於脈衝重複率、在該基板處之峰值光學強度及在該基板處之平均功率，其足以：熔融該基板中靠近該第二表面的區域，由此在該基板內產生熔融區；向該第一表面傳播該熔融區；且蒸發或沸騰該基板的材料並被定位於該熔融區內。

A method for forming a through-via in a substrate having opposing first and second surfaces can include directing a focused beam of laser pulses into the substrate through the first surface of the substrate and, subsequently, through the second surface of the substrate. The focused beam of laser pulses can have a wavelength to which the substrate is at least substantially transparent and a beam waist of the focused beam of laser pulses is closer to the second surface than to the first surface. The focused beam of laser pulses is characterized by a pulse repetition rate, a peak optical intensity at the substrate and an average power at the substrate sufficient to: melt a region of the substrate near the second surface, thereby creating a melt zone within the substrate; propagate the melt zone toward the first surface; and vaporize or boil material of the substrate and located within the melt zone.

指定代表圖：

- 符號簡單說明：
- 100:雷射處理系統
 - 102:雷射
 - 104:光束擴展器
 - 106:光束調節器
 - 108:光束掃描器
 - 110:掃描透鏡
 - 112:載物台
 - 114:基板
 - 116:半波片
 - 118:中繼透鏡
 - 120:摺疊鏡面





I816897

【發明摘要】

公告本

【中文發明名稱】 用於在基板中形成穿孔的方法

【英文發明名稱】 METHODS FOR FORMING A THROUGH-VIA IN A
SUBSTRATE

【中文】

一種用於在具有相對的第一表面及第二表面的基板中形成穿孔的方法，其可包括將雷射脈衝的一聚焦光束導引至該基板中穿過該基板之該第一表面且隨後穿過該基板之該第二表面。雷射脈衝的該聚焦光束可具有一波長，該基板對於該波長至少實質上是透明的，且雷射脈衝的該聚焦光束的光束腰部相比於該第一表面更接近於該第二表面。雷射脈衝的該聚焦光束之特徵在於脈衝重複率、在該基板處之峰值光學強度及在該基板處之平均功率，其足以：熔融該基板中靠近該第二表面的區域，由此在該基板內產生熔融區；向該第一表面傳播該熔融區；且蒸發或沸騰該基板材料並被定位於該熔融區內。

【英文】

A method for forming a through-via in a substrate having opposing first and second surfaces can include directing a focused beam of laser pulses into the substrate through the first surface of the substrate and, subsequently, through the second surface of the substrate. The focused beam of laser pulses can have a wavelength to which the substrate is at least substantially transparent and a beam waist of the focused beam of laser pulses is closer to the second surface than to the first surface. The focused beam of laser pulses is characterized by a pulse repetition rate, a peak optical intensity at the substrate and an average power at the substrate sufficient to: melt a region of the

substrate near the second surface, thereby creating a melt zone within the substrate; propagate the melt zone toward the first surface; and vaporize or boil material of the substrate and located within the melt zone.

【指定代表圖】 圖1

【代表圖之符號簡單說明】

100：雷射處理系統

102：雷射

104：光束擴展器

106：光束調節器

108：光束掃描器

110：掃描透鏡

112：載物台

114：基板

116：半波片

118：中繼透鏡

120：摺疊鏡面

【特徵化學式】

無

【發明說明書】

【中文發明名稱】 用於在基板中形成穿孔的方法

【英文發明名稱】 METHODS FOR FORMING A THROUGH-VIA IN A
SUBSTRATE

【技術領域】

【0001】 本發明之具體實例大體上相關於基板的處理，且更特定而言是關於雷射鑽孔，諸如基板中之穿孔。

相關申請案之交叉參考

【0002】 本申請案主張 2018 年 10 月 8 日申請之美國臨時申請案第 62/742,694 號之權益，該申請案以全文引用的方式併入本文中。

【先前技術】

【0003】 存在對具有用於電子應用之精確成型孔的薄玻璃的極大關注。該等孔用導電材料填充，且用於將電信號自一個零件傳導至另一零件，從而允許精確連接中央處理單元、記憶體晶片、圖形處理單元或其他電子組件。對於此類應用，在上述組件中具有金屬化孔的基板通常稱為「插入件」。與當前使用的插入件材料（諸如光纖加強型聚合物或矽）相比，玻璃具有大量有利特性。玻璃可在不需要拋光的情況下形成薄且平滑的大薄板，其具有比有機替代物更高的硬度及更高的尺寸穩定性，其比矽好得多的電絕緣體，其具有比有機選項更好的尺寸（熱及剛度）穩定性，且其可調整為不同的熱膨脹係數以控制積體電路中的堆疊變形。

【0004】 各種孔形成方法可用於在玻璃中產生孔，諸如熱壓、光機器可用之玻璃的微影、放電鑽孔、粉末噴砂及廣泛多種雷射鑽孔製程。利用該等技術中

之任一者，挑戰大體上係關於以足夠高的孔形成速率（孔/秒）形成品質足夠好（低開裂率、適當大小或圓度）的孔，其最終影響成本。舉例而言，玻璃的熱壓的困難在於形成尺寸足夠小（小於或等於約100微米）的孔，放電鑽孔可能難以以緊密的孔間距（亦即，小於約50微米的孔與孔的距離）進行，使用光束開孔對孔進行雷射鑽孔可能很慢（例如，約1個孔/秒），且準分子雷射處理及光可加工玻璃可能具有較大初始投資成本。

【0005】 已研發出製造尤其高品質的孔的習知雷射鑽孔製程。舉例而言，UV奈秒雷射可以用於衝擊式鑽孔製程中，以使用每孔的多個（例如，數百個）雷射脈衝在玻璃零件中製造導孔（每一個的直徑約為10微米）。該零件隨後用酸蝕刻以擴大導孔並達成目標尺寸。隨後將蝕刻孔金屬化，將重佈層添加至扇出電信號中，且將各零件切割成較小片段以產生功能性插入件。然而，用UV奈秒雷射進行的雷射鑽孔可為耗時的製程，且利用衝擊式鑽孔（亦即，在同一位置處一個脈衝之後的另一脈衝），可能需要數百個脈衝來將個別孔鑽至所需深度。由於精確雷射鑽孔平台的投資成本可能極大（接近\$1M/機器），因此孔形成的速度是全部插入件生產成本中的關鍵參數。此外，蝕刻玻璃零件使得，一旦經過蝕刻，難以確保不同玻璃零件具有實質上相同的厚度。

【0006】 另一習知雷射鑽孔製程涉及單次雷射製程，其中在需要孔的任何地方使用具有貝塞爾光束量變曲線（Bessel beam profile）的單一雷射脈衝來改質玻璃部分，且隨後用酸從孔中蝕刻該零件。儘管此製程可用於每秒產生至多5000個孔（200 μ s/孔），但製程仍需要蝕刻，如上文所論述，其使得難以確保製成品中玻璃零件的厚度均勻。此外，具有貝塞爾光束量變曲線的雷射脈衝難以使用習知光束轉向技術（例如，電流計反射鏡等）快速偏轉。因此，形成相對稀疏的孔圖案所需的時間通常比5000孔每秒慢得多。

【0007】 在 Karimelahi, Samira, Ladan Abolghasemi 及 Peter R. Herman.

「Rapid micromachining of high aspect ratio holes in fused silica glass by high repetition rate picosecond laser.」 Applied Physics A 114.1 (2014): 91-111中，一項嚴格的研究表明，IR及綠色超速雷射及高斯聚焦點（Gaussian focal spot）可用以在玻璃中產生較高寬高比的孔，但該等孔具有較差品質或需要隨後蝕刻步驟。因此，需要一種最小化或消除上文所提及之問題的雷射鑽孔材料（諸如玻璃）的方法。

【發明內容】

【0008】 一個具體實例可表徵為包括具有複數個雷射鑽孔的穿孔的基板的物品，該複數個雷射鑽孔的穿孔從該基板之第一表面不斷延伸至與該基板之該第一表面相對的該基板之第二表面，其中：該複數個雷射鑽孔的穿孔之直徑為10 μm 或更大；相鄰的蝕刻穿孔之間的間距為30 μm 或更大；該複數個雷射鑽孔的穿孔包含該第一表面中之開口、該第二表面中之開口及定位於該第一表面中之該開口與該第二表面中之該開口之間的腰部；該腰部的直徑為該第一表面中之該開口或該第二表面中之該開口的直徑的至少75%；且該第一表面中之該開口的直徑與該第二表面中之該開口的直徑之間的差為3.5 μm 或更小。

【0009】 另一具體實例可表徵為一種用於在基板中形成穿孔的方法，其中該方法包括：提供基板，該基板具有第一表面及與該第一表面相對的第二表面；以及在持續時間小於100 μs 的鑽孔期間，在一位置處將雷射脈衝的聚焦光束導引至該基板中穿過該基板之該第一表面且隨後穿過該基板之該第二表面，其中雷射脈衝的該聚焦光束具有一波長，該基板對於該波長至少實質上是透明的，其中在該基板處之雷射脈衝的該聚焦光束的光學強度小於該基板的光學擊穿強度，其中雷射脈衝的該聚焦光束具有高斯能量分佈，其中雷射脈衝的該聚焦光束具有大於5 MHz的脈衝重複率，且其中雷射脈衝的該聚焦光束內的雷射脈衝具有大

於200 fs的脈衝寬度。

【0010】 另一具體實例的特徵在於一種用於在基板中形成穿孔的方法，其中該方法包括：提供基板，該基板具有在30 μm 至150 μm 的範圍內的厚度且具有第一表面及與該第一表面相對的一第二表面；以及將雷射脈衝的聚焦光束導引至該基板中穿過該基板之該第一表面且隨後穿過該基板之該第二表面，其中雷射脈衝的該聚焦光束具有一波長，該基板對於該波長至少實質上是透明的；其中在該基板處之雷射脈衝的該聚焦光束的光學強度小於該基板的光學擊穿強度；其中雷射脈衝的該聚焦光束具有高斯能量分佈；其中雷射脈衝的該聚焦光束具有脈衝重複率、在該基板處之峰值光學強度及在該基板處驅動累計加熱效應的平均功率；且其中雷射脈衝的該聚焦光束內的雷射脈衝具有脈衝寬度，其中選擇該峰值光學強度、脈衝重複率、平均功率及脈衝寬度使得在小於40 μs 內形成該穿孔。

【0011】 又一具體實例的特徵在於一種用於在基板中形成穿孔的方法，其中該方法包括：提供基板，該基板具有第一表面及與該第一表面相對的第二表面；以及將雷射脈衝的聚焦光束導引至該基板中穿過該基板之該第一表面且隨後穿過該基板之該第二表面，其中雷射脈衝的該聚焦光束具有一波長，該基板對於該波長至少實質上是透明的，且其中雷射脈衝的該聚焦光束的光束腰部相比於該基板之該第一表面更接近於該基板之該第二表面，且其中雷射脈衝的該聚焦光束之特徵在於脈衝重複率、在該基板處之峰值光學強度及在該基板處之平均功率，其足以：熔融該基板中靠近該第二表面的區域，由此在該基板內產生熔融區；向該第一表面傳播該熔融區；且蒸發或沸騰該基板材料並被定位於該熔融區內。

【圖式簡單說明】

【0012】

圖1顯示用於實施雷射鑽孔製程的例示性雷射處理系統。

圖2及圖3顯示根據一個具體實例之使用雷射鑽孔製程鑽穿例示性玻璃基板的穿孔的照片。

圖4顯示實驗結果的曲線圖，在該實驗中，玻璃基板經受根據一些實施例之雷射鑽孔製程。

圖5至圖8是根據本文中所論述之具體實例之經處理以形成穿孔的橫截面玻璃基板的照片。

【實施方式】

【0013】 本文中參看隨附圖式來描述實例具體實例。除非另外明確地陳述，否則在圖式中，組件、特徵、元件等的大小、位置等以及其間的任何距離未必按比例繪製，而是出於明晰之目的而放大。在圖式中，相同元件符號通篇指相同元件。因此，可能參考其他圖式來描述相同或類似元件符號，即使該等元件符號在對應圖式中既未提及亦未描述。此外，即使未經附圖標記指示之元件亦可參考其他圖式加以描述。

【0014】 本文中所使用之術語僅出於描述特定實例具體實例之目的，且並不意欲為限制性的。除非另外定義，否則本文中所使用之所有術語（包括技術及科學術語）均具有一般熟習此項技術者通常所理解之相同含義。如本文中所使用，除非上下文另外明確地指示，否則單數形式「一（a/an）」及「該」意欲亦包括複數形式。應認識到，術語「包含（comprise/comprising）」在用於本說明書中時指定所陳述之特徵、整體、步驟、操作、元件及/或組件之存在，但並不排除一或多個其他特徵、整體、步驟、操作、元件、組件及/或其群組之存在或添加。除非另外指定，否則在敘述值範圍時，值範圍包括該範圍之上限及下限兩者以及

在其間的任何子範圍。除非另外指示，否則諸如「第一」、「第二」等術語僅用於區別一個元件與另一元件。舉例而言，一個節點可稱為「第一節點」，且類似地，另一節點可稱為「第二節點」，或反之亦然。

【0015】 除非另外指示，否則術語「約」、「大約」等意謂量、大小、配方、參數及其他量及特性並非且不必為精確的，而視需要可為大致的及/或更大或更小，從而反映容限、轉換因素、捨入、量測誤差及其類似者，以及熟習此項技術者已知之其他因素。在本文中可使用諸如「在.....下方」、「在.....之下」、「下部」、「在.....上方」及「上部」及其類似者之空間相對術語來描述如圖式中所說明的一個元件或特徵與另一元件或特徵的關係。應認識到，該等空間相對術語意欲涵蓋除圖式中所描繪之定向之外的不同定向。舉例而言，若將圖式中之物件翻轉，則描述為在其他元件或特徵「下方」或「之下」之元件將在其他元件或特徵「上方」定向。因此，例示性術語「在.....下方」可涵蓋在.....上方及在.....下方之定向兩者。物件可以其他方式定向（例如，旋轉90度或處於其他定向），且本文中所使用的空間相對描述詞可相應地進行解釋。

【0016】 應瞭解，許多不同形式、具體實例及組合係可能的，而不會背離本發明之精神及教示，且因此，本發明不應被視為限於本文中所闡述之實例具體實例。確切而言，提供此等實例及具體實例，使得本發明將為透徹且完整的，且將向熟習此項技術者充分傳達本發明之範圍。

【0017】 在本文中所論述的具體實例中，用於在基板中鑽穿孔的雷射鑽孔製程包括將光束雷射脈衝導引至基板中，使得雷射脈衝的光束透射至基板中穿過基板之第一表面且在基板內向與第一表面相對的基板之第二表面傳播。大體而言，雷射脈衝的光束經聚焦以產生定位於第二表面處或附近（亦即，定位於基板內部或外部）的光束腰部。

【0018】 在一些實施例中，基板提供為玻璃製的物品（例如，硼矽酸玻璃、

鋁硼矽酸玻璃、鋁矽酸玻璃、鹼性鉛矽玻璃、鹼性鹼土矽玻璃、氧化鋇玻璃、熔融矽石等)、合成石英、玻璃陶瓷(例如,鋁鋁矽酸鹽)、陶瓷、藍寶石、半導體材料(例如, Si、SiGe、GaAs、GaN SiC等)或其類似者或其任何組合。因此物品可提供為玻璃插入件、矽插入件、半導體晶圓、半導體晶粒、基板(例如,用於顯示螢幕、用於晶圓級封裝或其他半導體封裝、用於顯示面板級封裝、用於MEMS或感測器裝置等)或其類似者或其任何組合。在一些具體實例中,基板提供作為物品(例如,具有厚度在 $30\text{ }\mu\text{m}$ (或上下)至 $150\text{ }\mu\text{m}$ (或上下)範圍內)。然而,應瞭解,取決於由基板實施的特定物品,基板的厚度可小於 $30\text{ }\mu\text{m}$ 或大於 $150\text{ }\mu\text{m}$ 。

【0019】 大體而言,導引至基板之雷射脈衝的光束具有一波長,該基板對該波長至少實質上是透明的。如本文中所使用,當基板對雷射脈衝光束的吸收在此波長下每毫米材料深度小於約20%(例如,小於約15%、小於約10%、小於約5%、小於約1%)時,可認為基板對雷射脈衝光束的波長「實質上是透明的」。因此,取決於形成基板的材料,雷射脈衝光束可具有在電磁光譜之紫外光、可見光或紅外光區域內的波長。舉例而言,在一些具體實例中,若基板提供為玻璃製的物品、石英或藍寶石,則雷射脈衝光束之波長可在 300 nm (或上下)至 1064 nm (或上下)範圍內。

【0020】 如將在下文更詳細地論述,雷射鑽孔製程之特徵可在於包括以下的參數:脈衝波長、脈衝寬度、脈衝能量、脈衝重複率、基板處之峰值光學強度、鑽孔期間(亦即,將雷射脈衝導引至基板處之特定位置以形成穿孔的時間期間)及基板處之雷射脈衝光束的平均功率。大體而言,在雷射鑽孔製程具有高斯能量量變曲線期間,最終將雷射脈衝光束導引至基板。使用具有高斯能量量變曲線的雷射脈衝光束允許使用習知光束轉向技術(例如,電流計反射鏡、快速轉向反射鏡、旋轉多邊形反射鏡、聲光學偏轉器、電光學偏轉器等)快速偏轉雷射脈衝光

束以在基板中形成穿孔。視所需的孔直徑而定，可採用衝擊式鑽孔（例如，以形成直徑在1 μm 至100 μm 範圍內，例如10 μm 、20 μm 、30 μm 、50 μm 等的孔）或可偏轉光束（例如，如上文所描述）以形成具有類似或更大直徑的孔。由於光束可快速偏轉，亦有可能以比使用習知雷射鑽孔製程更高的產出率形成甚至相對稀疏的穿孔圖案。最後，本文中所描述的雷射鑽孔製程不需要酸蝕刻製程來獲得具有可接受的直徑或表面形態的穿孔。

【0021】 雷射鑽孔製程之特徵亦可在於在本文中稱為「z範圍」的參數。z範圍為基板之第二表面與雷射脈衝光束的光束腰部之間的距離的範圍，該等雷射脈衝在進行雷射鑽孔製程期間在基板中產生穿孔。本發明人已發現，z範圍取決於雷射鑽孔的其他前述參數中的至少一些。舉例而言，在給定脈衝波長、脈衝寬度及脈衝重複率下，且在臨限值鑽孔期間及在基板處之平均功率以上，已發現在雷射鑽孔製程期間z範圍之變化取決於鑽孔期間及在基板處之平均功率。判別用於獲得足夠大的z範圍的雷射鑽孔製程參數（例如，對於給定脈衝波長、脈衝寬度及脈衝重複率，鑽孔期間及在基板處之平均功率）的值很重要，這是因為基板通常不具有完全均勻的厚度（亦即，可能存在近似10 μm 或更大的厚度變化）且/或在進行雷射鑽孔製程時不完全平坦（亦即，基板中可能存在一些近似10 μm 或更大的波紋），且一個基板的厚度可不同於另一基板的厚度。因此，若z範圍不適應基板厚度或扁平度的變化，則雷射鑽孔製程將無法可靠地形成穿孔。

【0022】 在鑽孔後，可用導電材料或其類似者塗佈及/或填充穿孔。舉例而言，穿孔可形成於諸如玻璃插入件之基板中且用導電材料（例如，銅、鋁、金、銀、鉛、錫、氧化銻錫或其類似者或其任何組合或合金）塗佈及/或填充。用於金屬化穿孔內部的製程可為例如電鍍、無電極電鍍、物理氣相沈積或其他蒸發塗佈方法。亦可用促進孔內的化學反應的諸如鉑、鈀、二氧化鈦或其他材料之催化材料塗佈穿孔。替代地，可用其他化學官能化塗佈穿孔，從而改變表面潤濕性質

或允許附接生物分子，用於生物化學分析。此類化學官能化可為穿孔的玻璃表面的矽烷化，及/或特定蛋白質、抗體或其他生物學特異性分子的額外附接，其經設計以促進用於所需應用的生物分子的附接。

【0023】 大體而言，雷射脈衝的光束之特徵可在於諸如脈衝重複率、脈衝能量及脈衝寬度的參數。選擇脈衝能量及脈衝寬度，使得當聚焦雷射脈衝光束時，將光束腰部與基板之第二表面間隔開偏移距離，雷射脈衝的聚焦光束中的每一雷射脈衝以小於基板的光學擊穿強度的峰值光學強度照射基板的區域（亦即，對應於基板的該區域處的雷射脈衝的光斑尺寸）。此外，選擇足夠高的雷射脈衝的光束的脈衝重複率（例如，考慮到每一雷射脈衝照射基板區域的峰值光強度），使得基板的照射區域可在初始時間段（例如，在本文中亦稱為「醞釀期」）積聚熱量。在醞釀期期間，主要是由於基板材料進行多光子吸收而引發基板的加熱。在醞釀期期間，雷射脈衝的吸收亦可發生在基板中的點缺陷處，該點缺陷可產生駐存在用於光吸收的傳導能帶與價能帶之間的缺陷狀態。

【0024】 在醞釀期結束時，基板的照射區域（例如，其可位於基板之第二表面處或附近、基板之第一表面處或附近或其組合）已積聚足以局部增加基板溫度且減少其能帶間隙能量的熱量，使得能夠過渡至該基板的照射區域可熔融且最終蒸發的狀態。懷疑是由於熱電離，亦即，藉由分子的電子態及振動態在高溫下逐漸覆蓋能帶間隙，而減小基板材料的能帶間隙。有可能亦可在基板的高溫區域內發生衝擊電離及級聯電離(cascade ionization)，其可導致亦可有助於在其中增強雷射吸收的載體密度增加。在雷射鑽孔製程期間熔融的基板區域可被特徵化為「熔融區」。基板內高溫區域的邊緣或邊界或介面處的雷射脈衝吸收率的顯著增加迅速使得熔融區逐漸地朝向第一表面（亦即，在與來自掃描透鏡110的雷射脈衝光束的傳播方向相反的方向上）生長。另外，在基板內的極高溫度下（亦即，在大於3000°C的溫度下），已顯示衝擊電離及級聯電離亦可由熱電離的自由

電子接種，而無需多光子吸收的貢獻，使得雷射脈衝的吸收顯著增加。逐漸增加熔融區中的溫度超過基板材料的蒸發/沸點將最終產生可將熔融基板材料推出孔（亦即，至少大部分穿過第二表面）以產生穿孔的大蒸氣壓力。因此，緊接在醞釀期之後，雷射脈衝的聚焦光束可保持在基板的照射區域一段額外的時間（例如，在本文中亦稱為「移除階段」），以加熱、熔融及蒸發基板的照射區域（亦即，穿過基板的全部厚度）以形成穿孔。自醞釀期開始至移除階段結束的全部時間段本文中稱為「鑽孔期間」。

【0025】 鑒於上文，應顯而易見的是，本文中所描述的雷射鑽孔製程高度取決於基板的熱量積聚動力學（亦即，取決於由雷射脈衝的聚焦光束照射）。因此，可以此項技術中已知的任何方式產生及聚焦雷射脈衝的光束，以產生雷射脈衝的聚焦光束，其中雷射脈衝的聚焦光束中的每一雷射脈衝具有足以加熱（但不燒蝕、開裂或以其它方式損壞）基板的基板處的峰值功率及峰值光學強度。以此項技術中已知的任何方式進一步產生雷射脈衝光束，以產生具有足以防止基板在雷射脈衝之間實質上冷卻（例如，足以使得基板能夠在醞釀期期間積聚熱量且在移除階段期間繼續積聚熱量，如上文所論述）的脈衝重複率處的充足峰值功率的雷射脈衝。然而，亦應選擇雷射脈衝的聚焦光束的峰值功率、峰值光學強度及脈衝重複率來防止基板過快積聚熱量，此可導致不期望的現象，像是在未經雷射脈衝光束照射的基板區域中的龜裂以及在基板外部上之不期望的大範圍上方有熔融材料的噴射。

【0026】 在一個實施例中，如經產生、聚焦且遞送至基板以實施本文中描述之雷射鑽孔製程之一束雷射脈衝可特徵化為具有30 MHz脈衝重複率及約78 kW之基板處的峰值功率（例如，如藉由脈衝能量及脈衝寬度所測定，如此項技術中已知）以在 $1.27 \times 10^{11} \text{ W/cm}^2$ （或上下）之峰光學強度（例如，如藉由基板處之峰值功率及光斑大小所測定，如此項技術中已知）下輻射基板。應認識到，一

束雷射脈衝可具有大於或小於30 MHz之脈衝重複率，且認識到可視需要維持（例如，藉由調整一束雷射脈衝內之雷射脈衝的脈衝寬度或脈衝能量）或以其他方式調整基板處之一束雷射脈衝之峰值功率，以補償脈衝重複率之變化。同樣，視情況，可視需要維持（例如，藉由調整一束雷射脈衝內之雷射脈衝的脈衝寬度、脈衝能量或基板之第二表面處的光斑大小）或以其他方式調整基板處之峰光學強度，以補償脈衝重複率之變化。在鑽孔期間，一束雷射脈衝內之雷射脈衝之脈衝重複率、峰值功率、脈衝寬度或脈衝能量可為恆定或可變的。大體而言，可操作以產生具有足夠高脈衝重複頻率及可實施雷射鑽孔製程之峰值功率的一束雷射脈衝之雷射為能夠產生脈衝寬度在200 fs（或上下）至50 ps（或上下）範圍內的雷射脈衝之QCW雷射。舉例而言，雷射脈衝之脈衝寬度可為200fs、400fs、800fs、1ps、2 ps、5 ps、10 ps、20 ps、25 ps、30 ps、40 ps、45 ps、50 ps或此等值中之任一者之間的任何值。

【0027】 因此，為實施本文中描述之雷射鑽孔製程，該束雷射脈衝之脈衝重複率可在5 MHz（或上下）至5 GHz（或上下）範圍內，限制條件為視需要調節該束雷射脈衝之峰值功率及視情況基板處之峰光學強度，以補償脈衝重複率之變化。在一個實施例中，脈衝重複率可在5 MHz（或上下）至500 MHz（或上下）範圍內。在其他實施例中，脈衝重複率可在25 MHz（或上下）至40 MHz（或上下）範圍內，在150 MHz（或上下）至180 MHz（或上下）範圍內。

【0028】 取決於一或多個因素，諸如基板之厚度、一束雷射脈衝之脈衝重複率、一束雷射脈衝中之雷射脈衝之脈衝能量、一束雷射脈衝中之雷射脈衝之脈衝寬度、基板處之峰值功率、基板處之光學強度，鑽孔時段可在5 μ s（或上下）至120 μ s（或上下）範圍內。在一些實施例中，鑽孔時段可有利地小於或等於50 μ s（或上下）、小於或等於30 μ s（或上下）、小於或等於20 μ s（或上下）、小於或等於15 μ s（或上下）、小於或等於10 μ s（或上下）等或在此等值中之任一者之間。

【0029】 在雷射脈衝之聚焦光束的光束腰部在基板外部靠近第二表面時，雷射能量的吸收在基板之第二表面的界面及周圍環境（亦即，空氣）處發生。此界面有助於降低燒蝕臨界值以開始將雷射脈衝的光束中之雷射能量耦合至基板中。相對高峰值強度有助於消除對基板之第二表面處的吸收性塗層之需求。根據由本發明人執行之實驗，似乎存在雷射脈衝的聚焦光束不破壞基板之初始潛伏期。

【0030】 在一些具體實例中，基板之第一表面經清潔以移除將吸收雷射脈衝的光束內之能量的第一表面上之污染物（或減少其量）。在由本發明人執行之實驗中，已發現，在通過尚未清潔之第一表面的一部分傳輸雷射能量之光束時，形成於基板內的任何穿孔往往會在第一表面處具有相對較大開口且在第二表面處具有相對較小開口。在通過已經適合地清潔之第一表面的一部分傳輸雷射能量之光束時，形成於基板內之任何穿孔往往會在第一表面及第二表面處具有開口，該等開口具有約相同的直徑（例如，彼此在2 μm 至5 μm 之範圍內）。

【0031】 在雷射鑽孔製程期間自基板移除材料由此似乎涉及基板材料的熔化與燒蝕之組合，且不管雷射脈衝的光束具有相對低平均功率之實情如何，材料移除率與常規雷射鑽孔製程相比已出人意料地高。實際上，本文中所描述的雷射鑽孔製程與常規雷射鑽孔製程相比提供孔形成速率之顯著提高。由本發明人在光學透明玻璃基板約100 μm 厚上實施之實驗（亦即，根據打擊鑽孔技術執行本文中所描述的雷射鑽孔製程）指示具有約10 μm 之直徑的穿孔可在15 μs （或上下）內可靠地形成。由本發明人在光學透明玻璃基板約50 μm 厚上實施之實驗（亦即，根據打擊鑽孔技術執行本文中所描述的雷射鑽孔製程）指示具有約10 μm 之直徑的穿孔可在僅5 μs （或上下）內形成且可在15 μs （或上下）內可靠地形成。與在本文中所描述之具體實例中的雷射鑽孔製程相反，在光學透明玻璃基板中使用在透光波長下具有小於10皮秒的脈衝寬度之雷射脈衝之常規雷射鑽孔製程

依賴於非線性吸收，且形成一個穿孔所需要的時間往往為比根據本文中所描述的雷射鑽孔製程形成一個穿孔所需要的時間慢幾個數量級。

【0032】 圖1說明用於實施上文具體實例中所描述的雷射鑽孔製程之例示性雷射處理系統。參考圖1，雷射處理系統100包括雷射102、光束擴展器104、光束調節器106、光束掃描器108、掃描透鏡110及載物台112。

【0033】 雷射102可提供為能夠產生（例如，QCW雷射能夠產生具有上文提到的特性之一束雷射脈衝的任何適合之雷射。舉例而言，雷射102可被配置以在100 W（或上下）之平均功率、515 nm（或上下，例如，532 nm）的波長、介於20 ps（或上下）至40 ps（或上下）之範圍內的脈衝寬度及介於25 MHz（或上下）至40 MHz（或上下）之範圍內的脈衝重複率下產生一束雷射脈衝。在一個具體實例中，雷射脈衝之脈衝寬度為28 ps（或上下），且脈衝重複率為30 MHz（或上下）。

【0034】 光束擴展器104可提供為能夠將入射光束自第一光束大小（例如，2 mm或上下的直徑）擴展至第二光束大小（例如，4.5 mm或上下之直徑）的任何適合之裝置。在一個具體實例中，光束擴展器可提供為機動可變光束擴展器。

【0035】 光束調節器106可提供為能夠使雷射的光束選擇性地減弱（例如，部分地、完全地或根本不減弱）能量的任何適合之裝置。在一個具體實例中，光束調節器106可提供為聲光（acousto-optic；AO）調節器（acousto-optic modulator；AOM）或AO偏轉器（AO deflector；AOD）。

【0036】 光束掃描器108可提供作為能夠使雷射脈衝的入射光束（例如，在一維掃描場內、在二維掃描場內等）偏轉的任何適合之裝置（或多個裝置）。因此，光束掃描器108可包括一或多個電流計鏡面、一或多個快速轉向鏡面、一或多個可變形鏡面、一或多個AOD、旋轉多邊形鏡面或其類似者或其任何組合。

【0037】 掃描透鏡110可提供作為能夠使雷射脈衝的入射光束聚焦以便產

生雷射脈衝之聚焦光束的任何適合之裝置（或多個裝置）。在一個具體實例中，掃描透鏡110提供為遠心掃描透鏡。在另一具體實例中，掃描透鏡110具有100 mm（或上下）之焦距及約0.5或更小的數值孔徑（numerical aperture；NA）。在一個具體實例中，掃描透鏡110可使雷射脈衝之光束聚焦以產生具有介於10 μm （或上下）至13 μm （或上下）的範圍內（例如，介於11 μm 至12 μm 之範圍內）之直徑的光束腰部（例如，在掃描透鏡110之焦平面處）。

【0038】 載物台112可提供作為能夠支撐及移動前述基板（例如，在114處所識別）的任何適合之裝置（或多個裝置）。在一個具體實例中，載物台112被配置以使基板114沿一個軸、沿兩個軸或其類似者或其任何組合線性地移動。通常，基板114的特徵可為包括第一表面（例如，其面向掃描透鏡110）及第二表面，該第二表面與第一表面相對（例如，該第二表面背離掃描透鏡110）。載物台112被配置以支撐基板114，使得基板114之第二表面不接觸底層結構，諸如載物台112。如本文中所使用，基板114之第一表面亦稱為基板114的「正面」，且基板114之第二表面亦稱為基板114的「背面」。

【0039】 在一個具體實例中，載物台112支撐基板114以使得掃描透鏡110之焦平面定位於基板114外部（亦即，在基板114之第二表面下方）。設定基板114之第二表面與掃描透鏡110的焦平面之間的距離（亦即，前述「偏移距離」）以使得雷射脈衝之聚焦光束以小於基板之光學分解強度的峰值強度照射基板之區域，同時仍在基板中產生穿孔，如上文所論述。將瞭解，可實驗上地判定或可計算（例如，基於雷射鑽孔製程之參數、基於基板之材料或其類似者或其任何組合）偏移距離。

【0040】 系統100可進一步包括一或多個其他組件以使雷射脈衝的光束偏振、反射、擴展、聚焦等，從而自雷射102傳播至掃描透鏡110（例如，沿虛線，如圖1中所例示性地說明）。此等組件之實例包括半波片116、一對中繼透鏡118及

複數個摺疊鏡面（例如，摺疊鏡面120）。在一個具體實例中，該對中繼透鏡被設置且被配置以將從光束調節器106輸出之雷射脈衝之光束放大（例如，使如自光束調節器106輸出的雷射脈衝之光束的光束大小加倍）。因此，若從光束調節器106輸出之雷射脈衝的光束具有4.5 mm（或上下）的前述第二光束大小，則從該對中繼透鏡輸出之雷射脈衝之光束的特徵可為具有9 mm（或上下）之第三光束大小。

【0041】 圖2及3為照片，該等照片說明鑽孔穿過50 μm 厚玻璃基板（亦即，由SCHOTT公司製造之AF 32®形成的基板）之穿孔，分別獲自玻璃基板之第一表面及第二表面，使用前述雷射處理系統100且實施上文所描述的雷射鑽孔製程。玻璃基板未經塗佈，由於其並不具有形成於任一表面上之任何吸收性塗層，且基板處之雷射脈衝的光束之平均功率（亦即，在已藉由雷射處理系統100的前述組件反射、傳輸或繞射之後）介於66 W（或上下）至67 W（或上下）的範圍內。第一表面處之穿孔的直徑（如圖2中所示）介於9.5 μm 至10.1 μm 的範圍內；且第二表面處之穿孔之直徑（如圖3中所示）為9 μm 。

【0042】 圖4為說明實驗之結果的圖表，其中50 μm 厚玻璃基板（亦即，由SCHOTT公司製造之AF 32®形成的未經塗佈之基板）經受上文所描述的雷射鑽孔製程。在實驗中，基板處之雷射脈衝的光束之平均功率在25 W（或上下）至67 W（或上下）間變化，且基板中的試圖形成孔之每一位置處之鑽孔週期以5 μs 間隔在5 μs 至120 μs 間變化。圖表中之點表示獲自每一實驗的實際資料點，且等高線之邊界使用由SAS INSTITUTE公司產生之統計分析軟體JPM自實驗上所獲得的數據推導出。

【0043】 如圖4中所示，由本發明人執行之實驗指示，在25 W的平均功率及120 μs 之鑽孔週期下，雷射鑽孔製程根本不破壞基板，且從而並不形成任何穿孔。在25 W/40 μs 、30 W/40 μs 、35 W/40 μs 、40 W/30 μs 、40 W/20 μs 、40 W/10

μs 、50 W/10 μs 之平均功率/鑽孔週期對下同樣如此。在67 W之平均功率及5 μs 的鑽孔週期下，在基板中形成穿孔，其中z偏移為0.05 mm，但在大於0.05 mm之z偏移下不形成穿孔。因此，在66 W（或上下）至67 W（或上下）之平均功率及5 μs 的鑽孔週期下，雷射鑽孔製程之z範圍為0.05 mm。認為雷射鑽孔製程之z範圍能夠藉由增加基板處之平均功率及/或藉由增加每一鑽孔位置處的鑽孔週期來擴展，如圖4中所示。舉例而言，藉由將鑽孔週期自40 μs 增加至120 μs （在30 W之平均功率下），可在0.075 mm的z偏移下形成穿孔。同樣，在40 W之平均功率及40 μs 的鑽孔週期下，在基板中形成穿孔，其中z偏移為0.075 mm（但在大於0.075 mm之z偏移下不形成穿孔）。重要的為，已發現，在工件處之平均功率介於66 W（或上下）至67 W（或上下）的範圍內時，在15 μs 之鑽孔週期下形成的穿孔可在至少0.2 mm（或上下）之z偏移下形成。因此，在66 W（或上下）至67 W（或上下）之平均功率及15 μs 的鑽孔週期下，雷射鑽孔製程之z範圍為0.2 mm。在諸多情況下，此z範圍理想地適應基板厚度或平度之變化，由此確保穿孔可穿過基板快速且可靠地形成。

【0044】 圖5至8為橫截面玻璃基板（亦即，由SCHOTT公司製造之AF 32®形成）的照片，該等玻璃基板為50 μm 厚（在圖5及7之情況下）或100 μm 厚（在圖6及8的情況下），該等玻璃基板經處理（例如，使用雷射處理系統100及上文所描述的雷射鑽孔製程）以形成穿孔，其中每一孔在15 μs 之鑽孔週期內形成。玻璃基板並不具有形成於任一表面上之任何吸收性塗層，且基板處之雷射脈衝的光束之平均功率（亦即，在已藉由雷射處理系統100的前述組件反射、傳輸或繞射之後）介於67 W（或上下）至69 W（或上下）的範圍內。在圖5至8中，橫截面平面處之參差不齊的邊緣品質係歸因於玻璃材料對用於基板之橫截面的機械研磨方法之易碎性。因此，在截取橫截面之前，圖5至8中所識別之直徑可能小於其上註釋之直徑。圖5至8之主要目的是用於說明穿孔之側壁的筆直度及通過基

板的整體厚度之穿孔的直徑之均一性。

【0045】 根據前述，將瞭解，可（例如，藉由光束掃描器108）掃描雷射脈衝之光束以形成複數個穿孔。在本文中所描述的雷射鑽孔製程中，最小孔間間距（亦即，最近鄰孔之間的距離）通常將受基板之第二表面處的每一穿孔之開口周圍的「濺射區域」之直徑限制。通常，濺射區域為第二表面處的在形成穿孔期間自基板噴射熔融材料之開口周圍的區域。在一些具體實例中，上文所描述的雷射鑽孔製程產生具有約30 μm 之直徑的濺射區域。因此，孔間間距可為至少30 μm （或上下）。

【0046】 前文說明本發明之具體實例及實例，且不應解釋為對其之限制。雖然已參看圖式描述幾個特定具體實例及實例，但所屬領域中具通常知識者將易於瞭解，對所揭示具體實例及實例以及其他具體實例的諸多修改在不顯著背離本發明之新穎教示及優點的情況下為可能的。

【0047】 舉例而言，雖然已經描述在具有50 μm 或100 μm 的厚度之基板之第一表面及第二表面處的具有直徑為約10 μm 之開口的穿孔，但將瞭解，具有類似大小之開口的穿孔可形成於具有小於50 μm 、介於50 μm 與100 μm 之間或大於100 μm 的厚度之基板中。此外，可藉由使用掃描透鏡110來獲得在第一表面及第二表面處具有直徑更小之開口的穿孔，該掃描透鏡具有高於0.5之NA。

【0048】 在另一實例中，雖然上文已將雷射系統100描述為包括雷射102，該雷射可操作以產生呈515 nm（或上下）的波長之一束雷射脈衝，但將瞭解，上文具體實例中所描述的雷射鑽孔製程可使用除了515 nm（或上下）以外之波長的雷射脈衝達成，取決於諸如基板處之平均功率、脈衝寬度、脈衝重複率、形成基板的材料及其類似者的一或多種其他因子。舉例而言，前述雷射鑽孔製程可使用呈電磁波譜之近紅外區中的波長（例如，1030 nm、1064 nm或其類似者）之一束雷射脈衝來執行，其限制條件為雷射脈衝之光束具有如上文所論述的脈衝重複

率，且其限制條件亦為基板處之雷射脈衝之光束的平均功率為100 W（或上下）或更大（例如，110 W、120 W、130 W或其類似者，或在此等值中之任一者之間）。在近紅外區中之波長下，雷射脈衝之光束中的雷射脈衝可具有如上文所論述之脈波寬度。然而，應注意，脈衝寬度之選擇可影響鑽孔週期之持續時間。通常已發現，在給定平均功率及脈衝重複率下，具有相對短脈衝寬度（例如，10 ps或上下）之一束雷射脈衝將能夠在比具有相對長脈衝寬度（例如，30 ps或上下）的一束雷射脈衝短之鑽孔週期內形成穿孔。

【0049】 在另一實例中，雖然上文已將雷射鑽孔製程描述為消除對基板之第二表面處的吸收性塗層之需求，但將瞭解，基板之第二表面可經材料塗佈或以其他方式用該材料處理，該材料比基板對雷射脈衝之光束具有更大吸收性或改變基板（例如，在其第二表面處或附近）對雷射脈衝的吸收率。

【0050】 在另一實例中，在已執行雷射鑽孔製程以形成穿孔之後，基板可視情況經受熱退火製程。在此情況下，歸因於在雷射鑽孔製程期間噴射至濺射區域中之熔融材料的固化，熱退火可用來減小在基板之情況下存在的內應力。

【0051】 因此，所有此等修改意欲包括於如申請專利範圍中所界定的本發明之範圍內。舉例而言，除非此等組合彼此互斥，否則所屬領域中具通常知識者將瞭解，任何句子、段落、實例或具體實例之主題可與其他句子、段落、實例或具體實例中之一些或全部的主題組合。本發明之範圍因此應由以下申請專利範圍判定，且申請專利範圍的等效物包括於本發明之範圍中。

【符號說明】

【0052】

100：雷射處理系統

102：雷射

104：光束擴展器

106：光束調節器

108：光束掃描器

110：掃描透鏡

112：載物台

114：基板

116：半波片

118：中繼透鏡

120：摺疊鏡面

【發明申請專利範圍】

【第1項】一種用於在基板中形成穿孔的方法，該方法包含：

提供具有第一表面及與該第一表面相對的第二表面的基板；以及

在持續時間小於100 μ s的鑽孔期間，在一位置處將雷射脈衝的聚焦光束導引至該基板中穿過該基板之該第一表面且隨後穿過該基板之該第二表面，

其中雷射脈衝的該聚焦光束具有一波長，該基板對於該波長至少部分是透明的，

其中在該基板處之雷射脈衝的該聚焦光束的光學強度小於該基板的光學擊穿強度，

其中雷射脈衝的該聚焦光束具有高斯能量分佈，

其中雷射脈衝的該聚焦光束具有大於5 MHz的脈衝重複率，且

其中雷射脈衝的該聚焦光束內的雷射脈衝具有大於200 fs的脈衝寬度。

【第2項】如請求項1所述之方法，其中該基板對於在電磁光譜之紫外光區域內的至少一個波長至少部分是透明的。

【第3項】如請求項1所述之方法，其中該基板對於在電磁光譜之可見光區域內的至少一個波長至少部分是透明的。

【第4項】如請求項1所述之方法，其中該基板對於在電磁光譜之紅外光區域內的至少一個波長至少部分是透明的。

【第5項】如請求項1所述之方法，其中該基板為玻璃。

【第6項】如請求項1所述之方法，其中該基板為藍寶石。

【第7項】如請求項1所述之方法，其中該基板為矽晶粒。

【第8項】如請求項1所述之方法，其中該基板為GaN晶粒。

【第9項】如請求項1所述之方法，其中雷射脈衝的該聚焦光束具有大於25 MHz的脈衝重複率。

【第10項】如請求項9所述之方法，其中雷射脈衝的該聚焦光束具有大於40 MHz的脈衝重複率。

【第11項】如請求項10所述之方法，其中雷射脈衝的該聚焦光束具有大於300 MHz的脈衝重複率。

【第12項】如請求項11所述之方法，其中雷射脈衝的該聚焦光束具有大於500 MHz的脈衝重複率。

【第13項】如請求項10所述之方法，其中雷射脈衝的該聚焦光束內的雷射脈衝具有小於50 fs的脈衝寬度。

【第14項】一種用於在基板中形成穿孔的方法，該方法包含：

提供基板，該基板具有在30 μm 至150 μm 之範圍內的厚度並且具有第一表面及與該第一表面相對的第二表面；以及

將雷射脈衝的聚焦光束導引至該基板中穿過該基板之該第一表面且隨後穿過該基板之該第二表面，

其中雷射脈衝的該聚焦光束具有一波長，該基板對於該波長至少部分是透明的；

其中在該基板處之雷射脈衝的該聚焦光束的光學強度小於該基板的光學擊穿強度；

其中雷射脈衝的該聚焦光束具有高斯能量分佈；

其中雷射脈衝的該聚焦光束具有脈衝重複率、在該基板處之峰值光學強度及在該基板處驅動累計加熱效應的平均功率；且

其中在雷射脈衝的該聚焦光束內的雷射脈衝具有脈衝寬度，

其中選擇該峰值光學強度、脈衝重複率、平均功率及脈衝寬度使得在小於40 μs 內形成該穿孔。

【第15項】如請求項14所述之方法，其中選擇該峰值光學強度、脈衝重複率、

平均功率及脈衝寬度使得在小於30 μs 內形成該穿孔。

【第16項】如請求項15所述之方法，其中選擇該峰值光學強度、脈衝重複率、平均功率及脈衝寬度使得在小於20 μs 內形成該穿孔。

【第17項】如請求項16所述之方法，其中選擇該峰值光學強度、脈衝重複率、平均功率及脈衝寬度使得在小於10 μs 內形成該穿孔。

【第18項】如請求項15所述之方法，其中選擇該峰值光學強度、脈衝重複率、平均功率及脈衝寬度使得在5 μs 至15 μs 範圍內形成該穿孔。

【第19項】一種用於在基板中形成穿孔的方法，該方法包含：

提供基板，該基板具有第一表面及與該第一表面相對的第二表面；以及

將雷射脈衝的聚焦光束導引至該基板中穿過該基板之該第一表面且隨後穿過該基板之該第二表面，

其中雷射脈衝的該聚焦光束具有一波長，該基板對於該波長至少部分是透明的，且其中雷射脈衝的該聚焦光束的光束腰部相比於該基板之該第一表面更接近於該基板之該第二表面，且

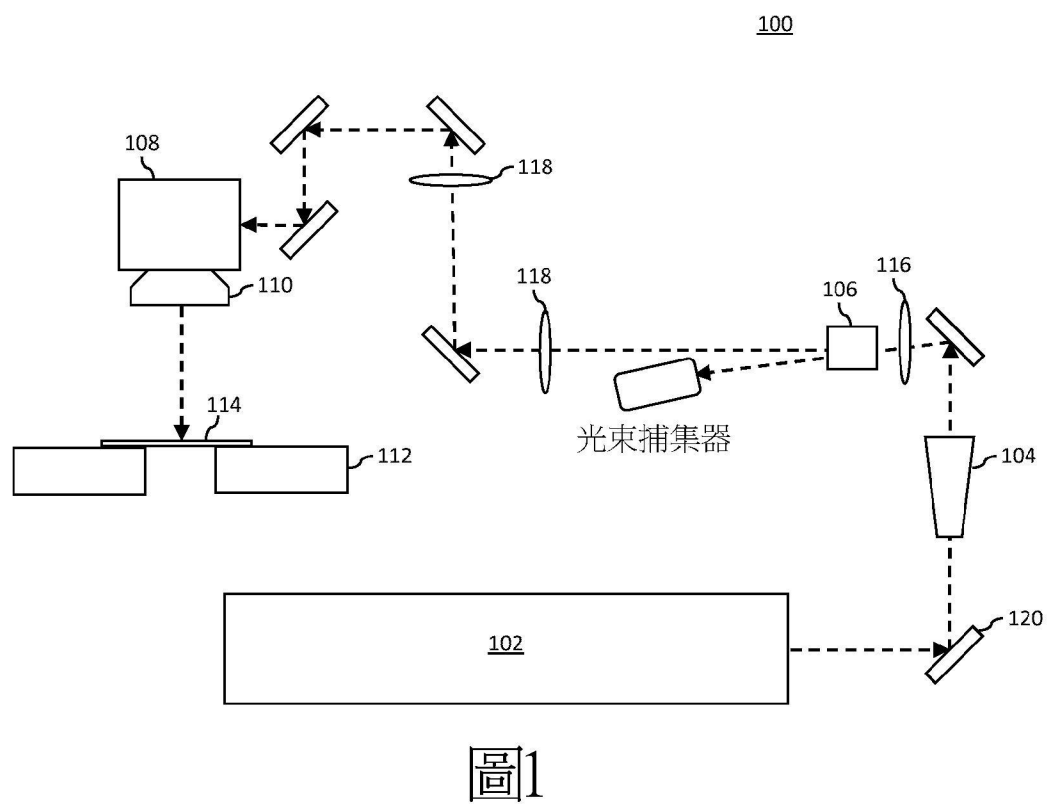
其中雷射脈衝的該聚焦光束之特徵在於脈衝重複率、在該基板處之峰值光學強度及在該基板處之平均功率，其足以：

熔融該基板中靠近該第二表面的區域，由此在該基板內產生熔融區；

向該第一表面傳播該熔融區；且

蒸發或沸騰被定位於該熔融區內之該基板之材料。

【發明圖式】



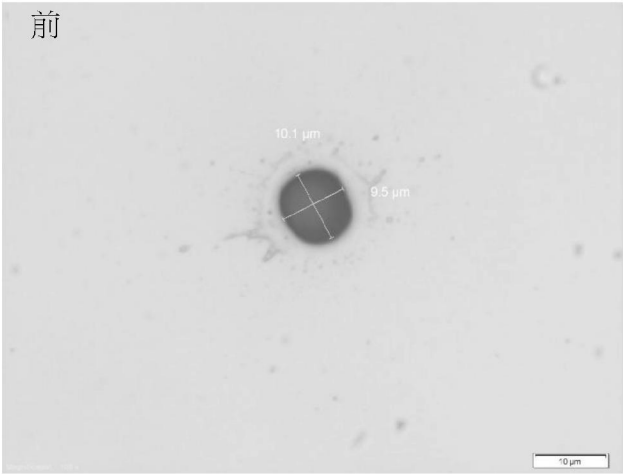


圖2

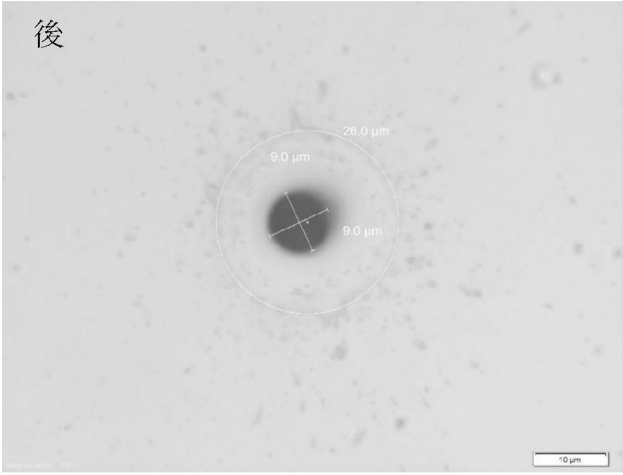


圖3

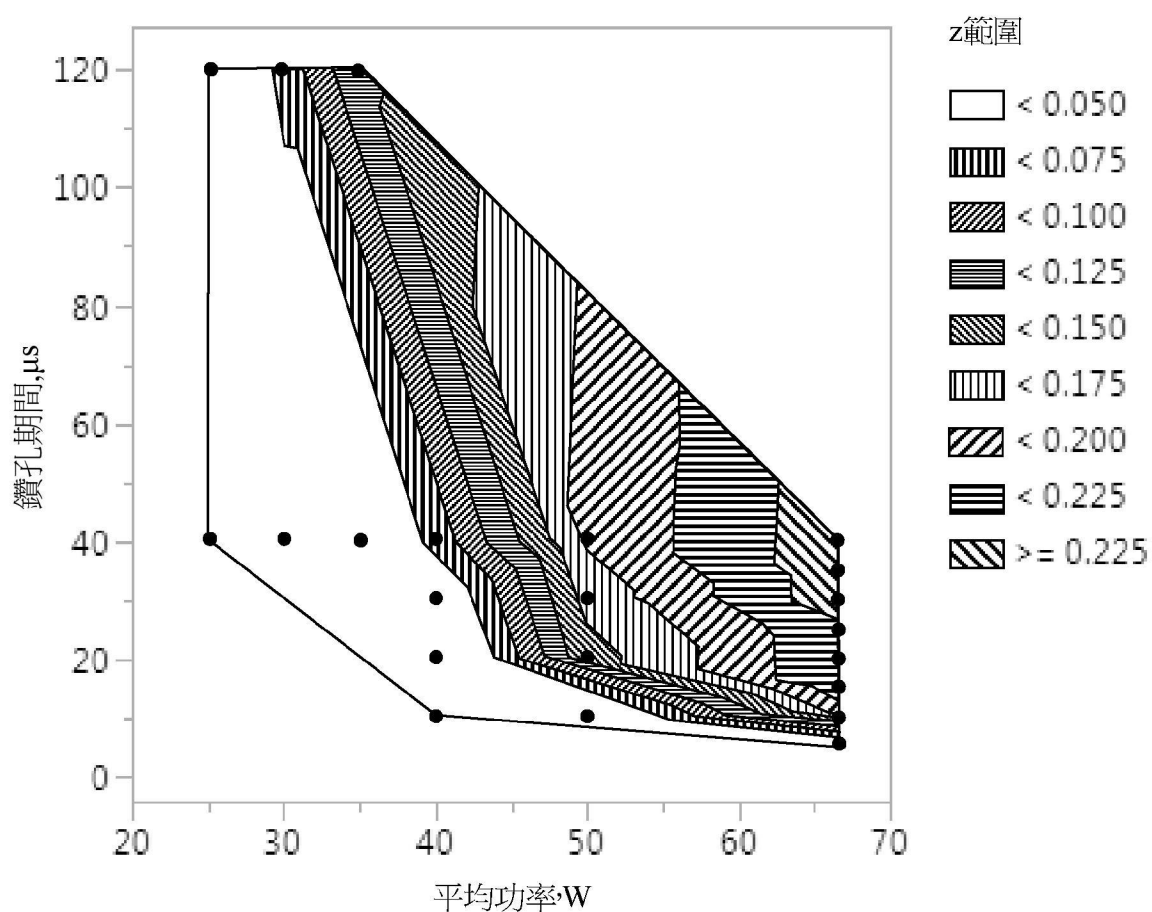


圖4

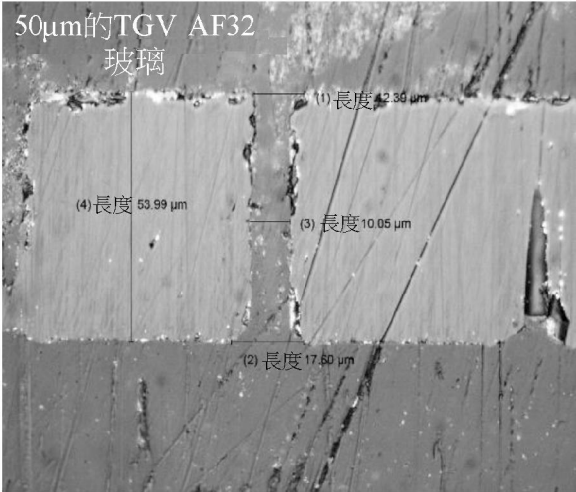


圖 5



圖 6

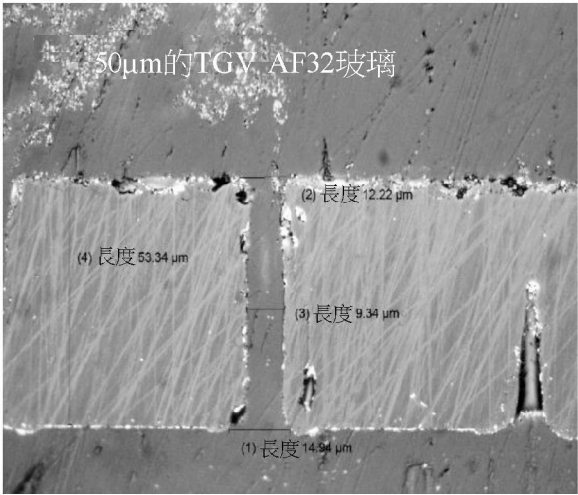


圖 7

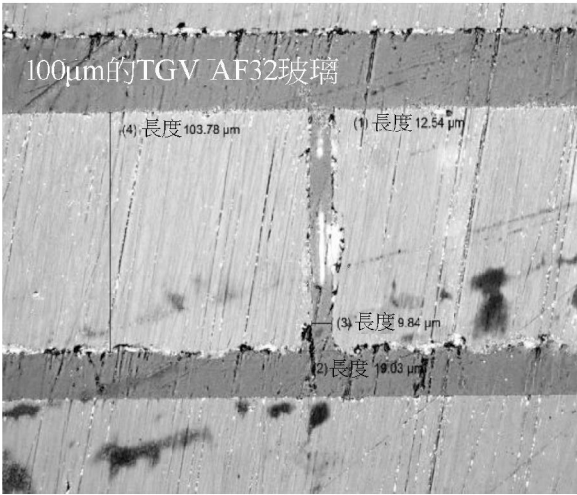


圖 8