



(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 I886129 B

(45)公告日：中華民國 114 (2025) 年 06 月 11 日

(21)申請案號：109118444

(22)申請日：中華民國 109 (2020) 年 06 月 02 日

(51)Int. Cl. : **B23K26/386 (2014.01)****H01S3/10 (2006.01)****H01S3/02 (2006.01)**

(30)優先權：2019/06/10 美國 62/859,572

2019/11/04 美國 62/930,287

2020/02/05 美國 62/970,648

2020/05/18 美國 63/026,564

(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：卻瑞本恩 傑伊爾 SCHRAUBEN, JOEL (US)；昂瑞斯 馬克 UNRATH, MARK (US)；陳若霖 CHEN, RUOLIN (CN)；胡宏華 HU, HONGHUA (CN)；林智斌 LIN, ZHIBIN (CN)；芬恩 達瑞 FINN, DARAGH (US)；洛特 傑佛利 LOTT, GEOFFREY (US)；楊川 YANG, CHUAN (CN)；克雷能特 傑恩 KLEINERT, JAN (DE)

(74)代理人：閻啓泰；林景郁

(56)參考文獻：

TW 201312291A

WO 2017/044646A1

審查人員：蕭盛澤

申請專利範圍項數：29 項 圖式數：51 共 88 頁

(54)名稱

雷射加工設備、其操作方法以及使用該雷射加工設備加工工件的方法

(57)摘要

本發明揭示眾多具體實例。其中許多係關於在諸如印刷電路板之工件中形成通孔之方法。一些具體實例係關於用於藉由在間接地燒蝕例如印刷電路板之電導體結構之前使雷射能量在空間上貫穿該電導體之一區分配而間接地燒蝕該區之技術。其他具體實例係關於用於在時間上劃分雷射脈衝、調變雷射脈衝內之光學功率等之技術。

Numerous embodiments are disclosed. Many of which relate to methods of forming vias in workpieces such as printed circuit boards. Some embodiments relates techniques for indirectly ablating a region of an electrical conductor structure of, for example, a printed circuit board by spatially distributing laser energy throughout the region before the electrical conductor is indirectly ablated. Other embodiments relate to techniques for temporally-dividing laser pulses, modulating the optical power within laser pulses, and the like.

指定代表圖：

符號簡單說明：

100:雷射加工設備

102:工件

104:雷射源

106:第一定位器

108:第二定位器

110:第三定位器

112:掃描透鏡

114:光束路徑

116:主要角度範圍

118:輔助角度範圍

120:掃描頭

122:控制器

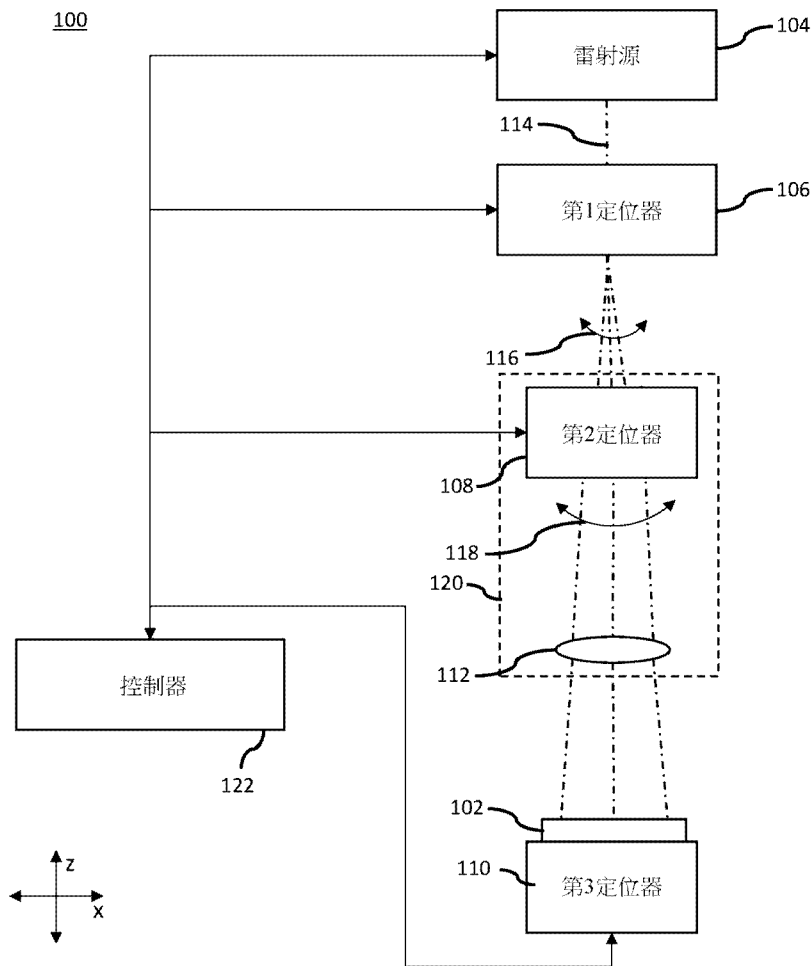


圖1



I886129

【發明摘要】

【中文發明名稱】 雷射加工設備、其操作方法以及使用該雷射加工設備加工工件的方法

【英文發明名稱】 LASER PROCESSING APPARATUS, METHODS OF OPERATING THE SAME, AND METHODS OF PROCESSING WORKPIECES USING THE SAME

【中文】

本發明揭示眾多具體實例。其中許多係關於在諸如印刷電路板之工件中形成通孔之方法。一些具體實例係關於用於藉由在間接地燒蝕例如印刷電路板之電導體結構之前使雷射能量在空間上貫穿該電導體之一區分配而間接地燒蝕該區之技術。其他具體實例係關於用於在時間上劃分雷射脈衝、調變雷射脈衝內之光學功率等之技術。

【英文】

Numerous embodiments are disclosed. Many of which relate to methods of forming vias in workpieces such as printed circuit boards. Some embodiments relates techniques for indirectly ablating a region of an electrical conductor structure of, for example, a printed circuit board by spatially distributing laser energy throughout the region before the electrical conductor is indirectly ablated. Other embodiments relate to techniques for temporally-dividing laser pulses, modulating the optical power within laser pulses, and the like.

【指定代表圖】 圖1

【代表圖之符號簡單說明】

100:雷射加工設備

102:工件

104:雷射源

106:第一定位器

108:第二定位器

110:第三定位器

112:掃描透鏡

114:光束路徑

116:主要角度範圍

118:輔助角度範圍

120:掃描頭

122:控制器

【特徵化學式】

無

【發明說明書】

【中文發明名稱】 雷射加工設備、其操作方法以及使用該雷射加工設備加工工件的方法

【英文發明名稱】 LASER PROCESSING APPARATUS, METHODS OF OPERATING THE SAME, AND METHODS OF PROCESSING WORKPIECES USING THE SAME

【技術領域】

【0001】 本發明之具體實例係關於用於雷射加工工件之設備及技術。

相關申請案之交叉引用

【0002】 本申請案主張 2019 年 6 月 10 日申請之美國臨時申請案第 62/859,572 號、2019 年 11 月 4 日申請之美國臨時申請案第 62/930,287 號、2020 年 2 月 5 日申請之美國臨時申請案第 62/970,648 號及 2020 年 5 月 18 日申請之美國臨時申請案第 63/026,564 號的權益，該等美國臨時申請案中之每一者以全文引用之方式併入本文中。

【先前技術】

【0003】 雷射過程常常用以在諸如印刷電路板（剛性及可撓性種類兩者）等之工件中形成盲通孔及穿孔（典型地 $150\ \mu\text{m}$ 直徑）。為形成通孔，可使用的雷射過程為所謂的「衝壓」過程、「開孔」過程，或其某一組合。在衝壓過程期間，將雷射能量光束引導至工件上、保持固定，同時形成通孔。相比之下，在開孔過程期間，使雷射能量光束相對於工件移動以形成通孔。習知地，在開孔過程期間，移動雷射能量光束，以便藉由雷射能量光束以螺旋形或圓形圖案掃描照射在工件上的點。

【發明內容】

【0004】 一個具體實例可表徵為一種在包含第一結構及第二結構之工件內形成特徵之方法，其中該特徵包括形成於該第一結構中的開口。該方法可包括掃描引導至該工件上的雷射能量光束，使得該雷射能量光束入射於該第一結構上以將該雷射能量按順序遞送至一掃描圖案之多個在空間上不同的光點位置。該掃描可包括以下動作：a) 將該雷射能量遞送至該多個在空間上不同的光點位置中之至少兩個光點位置，以將該雷射能量分配在該工件之待形成該特徵之一區內；以及b) 在a) 之後，將該雷射能量遞送至該多個在空間上不同的光點位置中之至少兩個光點位置以藉由間接地燒蝕該區內的該第一結構而形成該開口。

【0005】 另一具體實例可表徵為一種用於在包含第一結構及第二結構之工件內形成特徵之設備，其中該特徵包括形成於該第一結構中的開口。該設備可包括：一雷射源，其可操作以產生一雷射能量光束，其中該雷射能量光束可沿著一光束路徑傳播以待入射於該工件之該第一結構上；一定位器，其可操作以使該光束路徑偏轉；以及一控制器，其以通信方式耦接至該定位器。該控制器可經組態以控制該定位器之一操作，以實現上段中所描述的掃描過程。

【0006】 又一具體實例可表徵為一種設備，其包括雷射源、聲光偏轉器（AOD）系統及控制器。該雷射源可操作以產生具有至少一個雷射脈衝之雷射能量光束，其中該雷射能量光束可沿著光束路徑傳播至工件。該AOD系統可操作以使該光束路徑偏轉，且包括第一AOD，該第一AOD可操作以回應於施加至其之第一RF信號而使該光束路徑沿著第一軸線偏轉。該控制器以通信方式耦接至該AOD系統，且經組態以控制該AOD系統之操作，藉此該第一RF信號之頻率改變至少兩次，以將入射於該AOD系統上之共同雷射脈衝在時間上劃分成多個脈衝片段，其中該第一RF信號之該頻率以大於或等於20 kHz之比率改變。

【0007】 又一具體實例可表徵為一種設備，其包括：雷射源；第一掃描頭，其具有掃描透鏡；第二掃描頭，其具有掃描透鏡；定位器；以及控制器。該雷射源可操作以產生具有至少一個雷射脈衝之雷射能量光束，其中該雷射能量光束可沿著光束路徑傳播至工件。該定位器可操作以選擇性地使該光束路徑在該第一掃描頭與該第二掃描頭之間偏轉。該控制器以通信方式耦接至該定位器，且經組態以控制該定位器之操作，以將入射於該定位器上之共同雷射脈衝在時間上劃分成包含第一脈衝片段組及第二脈衝片段組之多個脈衝片段。該控制器進一步經組態以控制該定位器之操作，以：使該第一脈衝片段組偏轉至該第一掃描頭；以及使該第二脈衝片段組偏轉至該第二掃描頭，其中該第二脈衝片段組中之至少一個脈衝片段在時間上存在於該第一脈衝片段組中之兩個連續脈衝片段之間。

【圖式簡單說明】

【0008】

[圖1]及[圖31]示意性地說明根據本發明之一些具體實例的雷射加工設備。

[圖2]示意性地說明根據一個具體實例之可併入至第一定位器中的多軸AOD系統。

[圖3]及[圖4]示意性地說明根據一些具體實例之用於實施脈衝分片的技術。

[圖5]為示意性地說明可由雷射加工設備加工的工件之具體實例之橫截面圖。

[圖6]及[圖7]為示意性地說明可使用雷射加工設備形成於關於圖5論述的工件中的特徵之具體實例之橫截面圖。

[圖8]至[圖22]及[圖24(a)]為說明掃描圖案之實例性具體實例的圖，可沿著該等掃描圖案掃描由引導至關於圖5論述的工件上之雷射能量光束照射的加工光

點，以形成諸如關於圖6及圖7論述的彼等特徵。

[圖23]、[圖24(b)]、[圖25]及[圖26]分別為在沿著在圖14、圖24(a)、圖16及圖15中所示的掃描圖案掃描加工光點時形成於工件（例如，如圖6中所示）中的盲通孔之顯微照片。在圖23及圖24(b)中，盲通孔之直徑 d 為約 $100\ \mu\text{m}$ 。在圖25中，盲通孔之直徑 d 為約 $75\ \mu\text{m}$ 。在圖26中，每一盲通孔之直徑 d 為約 $180\ \mu\text{m}$ 。

[圖27]為示意性地說明藉由沿著第二類型掃描圖案掃描加工光點而形成的通孔開口之形狀之平面圖的圖。

[圖28]為說明在藉由雷射能量光束掃描時產生具有橢圓形開口（如圖27中例示性地展示）的通孔之點位置之例示性圓形配置的圖。

[圖29]為說明在藉由雷射能量光束掃描時產生開口形狀比圖27中所示的開口形狀圓度高的通孔之點位置之例示性橢圓形配置的圖。

[圖30]為說明根據一個具體實例的用於在形成盲通孔期間實施脈衝分片的技術之一組圖。

[圖32]至[圖45]為說明根據一些具體實例的用於在形成各種特徵期間實施脈衝分片的技術之圖。

[圖46]、[圖48]及[圖49]為根據本發明之一些具體實例形成的通孔開口之顯微照片。

[圖47]、[圖50]及[圖51]為說明用於形成具有類似於圖48中所示的開口之通孔的技術之圖。

【實施方式】

【0009】本文中參考隨附圖式來描述實例性具體實例。除非以其他方式明確地陳述，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依據比例，而是出於明晰之目的而放大。在圖式中，相同編號通篇指相

同元件。因此，可能在參考其他圖式時描述相同或類似數字，即使該等數字在對應圖式中未提及亦未描述。又，即使未經參考數字指示之元件亦可參考其他圖式加以描述。

【0010】 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）具有一般熟習此項技術者通常所理解之相同意義。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」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。

【0011】 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。為易於描述，諸如「在.....下方」、「在.....之下」、「下部」、「在.....上方」及「上部」以及其類似者之空間相對術語可在本文中使用以描述如在圖式中所說明的一個元件或特徵與另一元件或特徵之關係。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，若諸圖中的物件經翻轉，則描述為「在」其他元件或特徵「下方」或「下面」的元件將接著定向為「在」其他元件或特徵「上方」。因此，例示性術語「在.....下方」可涵蓋在上方及在下方的定向兩者。物件可以其他方式定向（例如，旋轉90度或

處於其他定向)，且本文中所用之空間相對描述詞可相應地進行解釋。

【0012】 本文中所使用之章節標題僅用於組織目的，且除非另外明確地陳述，否則該等章節標題不應被理解為限制所描述之標的。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疇。

I. 綜述

【0013】 本文中所描述之具體實例大體上係關於用於雷射加工（或者，更簡單地，「加工」）工件之方法及設備。大體而言，該加工係藉由以下操作來完全或部分地實現：用雷射輻射輻照工件，以使形成工件之一或多種材料受熱、熔融、蒸發、燒蝕、開裂、褪色、拋光、粗化、碳化、發泡，或以其他方式修改該一或多種材料之一或多個性質或特性（例如，就化學組成、原子結構、離子結構、分子結構、電子結構、微結構、奈米結構、密度、黏度、折射率、磁導率、相對電容率、紋理、色彩、硬度、電磁輻射透射率或其類似者或其任何組合而言）。待加工之材料在加工之前或期間可存在於工件外部，或在加工之前或期間可完全位於工件內（即，不存在於工件外部）。

【0014】 可藉由所揭示之用於雷射加工之設備進行且下文更詳細描述的過程之特定實例包括通孔鑽孔或其他孔形成。將瞭解，本文中描述的具體實例可擴展至執行或以其他方式促進切割、穿孔、焊接、刻劃、雕刻、標記（例如，表面標記、表面下標記等）、雷射引發之正向傳送、清洗、漂白、明亮像素維修（例如，彩色濾光片暗化、修改OLED材料，等）、除去塗層、表面紋理化（例如，粗糙化、平滑化等）等或其任何組合。

【0015】 因此，作為處理之結果，可形成於工件上或內的一或多個特徵可

包括開口、槽、通孔或其他孔、凹槽、溝槽、切割道、鋸口、凹陷區域、導電跡線、歐姆觸點、光阻圖案、人工或機器可讀標記（例如，由具有一或多個視覺上或質地上可區分之特性的工件中或上的一或多個區域組成）或其類似物，或其任何組合。當自俯視平面圖檢視時，諸如開口、槽、通孔、孔等特徵可具有任何適合或合乎需要的形狀（例如，圓形、橢圓形、正方形、矩形、三角形、環形或其類似者或其任何組合）。另外，諸如開口、槽孔、通、孔等特徵可完全延伸穿過工件（例如，以便形成所謂的「穿通孔（through via）」、「穿孔（through hole）」等）或僅部分地延伸穿過工件（例如，以便形成所謂的「盲通孔（blind via）」、「盲孔（blind hole）」等）。

【0016】 可加工之工件一般之特徵可為由一或多種金屬、聚合物、陶瓷、複合物或其任何組合（例如，不論是否為合金、化合物、混合物、溶液、複合物等）形成。本文中特定描述的工件之實例包括印刷電路板（PCB）之面板（在本文中亦稱為「PCB面板」）、PCB、可撓性印刷電路（FPC）、積體電路（IC）及IC封裝（ICP）。然而，將瞭解，亦可有益地加工其他類型之工件，諸如發光二極體（LED）、LED封裝、半導體晶圓、電子或光學裝置基板（例如，由 Al_2O_3 、 AlN 、 BeO 、 Cu 、 GaAS 、 GaN 、 Ge 、 InP 、 Si 、 SiO_2 、 SiC 、 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 等或其任何組合或合金）、引線框架、引線框架坯料、由塑膠、未強化玻璃、熱強化玻璃、化學強化玻璃（例如，經由離子交換過程）、石英、藍寶石、塑膠、矽等形成的製品、電子顯示器之組件（例如，上面形成有TFT、彩色濾光片、有機LED（OLED）陣列、量子點LED陣列等或其任何組合的基板）、透鏡、鏡面、螢幕保護器、渦輪葉片、粉末、膜、箔片、板、模具（例如，蠟模具、用於注塑模製之模具、包模流延過程，等）、織物（編織的、氈製的等）、手術儀器、醫用植入物、消費型封裝商品、鞋、腳踏車、汽車、汽車或航空部件（例如，框架、車身面板等）、電器（例如，微波爐、烘箱、冰箱等）、裝置外殼（例如，用於手錶、電腦、智慧

型電話、平板電腦、可穿戴電子裝置，等或其任何組合)。

【0017】 因此，可加工的材料包括：一或多種金屬，諸如Al、Ag、Au、Cu、Fe、In、Mg、Pt、Sn、Ti等，或其任何組合(例如，作為合金、複合物，等)；導電金屬氧化物(例如，ITO，等)；透明導電聚合物；陶瓷；蠟；樹脂；無機介電材料(例如，用作層間介電結構，諸如氧化矽、氮化矽、氮氧化矽等，或其任何組合)；低k介電材料(例如，甲基倍半氧矽烷(MSQ)、三氧化矽烷(HSQ)、氟化正矽酸四乙酯(FTEOS)等，或其任何組合)；有機介電材料(例如，SILK、苯并環丁烯、Nautilus(全部由Dow製造)；聚四氟乙烯(由DuPont製造)；FLARE(由Allied Chemical製造)等，或其任何組合)；玻璃纖維；聚合材料(聚醯胺、聚醯亞胺、聚酯、聚縮醛、聚碳酸酯、經改質聚苯醚、聚丁烯對苯二甲酸酯、聚苯硫醚、聚醚砜、聚醚醯亞胺、聚醚醯酮、液晶聚合物、丙烯腈丁二烯苯乙烯，及任何化合物、複合物或其合金)；皮革；紙；堆積材料(例如，ANJINOMOTO增層膜，亦稱為「ABF」，等)；玻璃強化環氧樹脂層壓體(例如，FR4)；預浸材；阻焊劑等；或其任何複合物、層壓體或其他組合。

II. 系統概述

【0018】 圖1示意性地說明根據本發明之一個具體實例之雷射加工設備。

【0019】 參考圖1中所示的具體實例，用於加工工件102之雷射加工設備100(本文中亦簡稱為「設備」)可表徵為包括用於產生雷射能量光束之雷射源104、第一定位器106、第二定位器108、第三定位器110及掃描透鏡112。應注意，第二定位器108、第三定位器110及掃描透鏡112中之每一者為可選的，且可自設備100省略。掃描透鏡112及第二定位器108可視情況整合至共同外殼或「掃描頭」120中。

【0020】 如下文更詳細地論述，第一定位器106可操作以繞射雷射能量光束，以便使光束路徑114偏轉至第二定位器108中之任一者。如本文中所使用，術

語「光束路徑」係指雷射能量光束中之雷射能量在自雷射源104傳播至掃描透鏡112時行進所沿的路徑。當使光束路徑114偏轉至第二定位器108時，光束路徑114可偏轉在第一角度範圍(在本文中亦稱為「主要角度範圍116」)內的任何角度(例如，如相對於入射於第一定位器106上之光束路徑114所量測)。

【0021】 第二定位器108可操作以對由雷射源104產生且由第一定位器106偏轉(即，以使雷射能量光束「偏轉」)之雷射能量光束進行繞射、反射、折射等或其任何組合，以便使光束路徑114偏轉至掃描透鏡112。當使光束路徑114偏轉至掃描透鏡112時，第二定位器108可使光束路徑114在第二角度範圍(在本文中亦稱為「輔助角度範圍118」)內偏轉任何角度(例如，如相對於掃描透鏡112之光軸所量測)。

【0022】 偏轉至掃描透鏡112之雷射能量典型地由掃描透鏡112聚焦且經透射以沿束軸傳播，以便遞送至工件102。遞送至工件102之雷射能量之特徵可為具有高斯型空間強度輪廓或非高斯型(即，「成形(shaped)」)空間強度輪廓(例如，「頂帽型(top-hat)」空間強度輪廓、超高斯空間強度輪廓等)。

【0023】 如本文中所使用，術語「光點大小(spot size)」係指在束軸與工件102之將由經遞送雷射能量光束至少部分地加工之區相交的位置處遞送之雷射能量光束的直徑或最大空間寬度(亦稱為「加工光點(process spot)」、「光點位置(spot location)」，或簡稱為「光點(spot)」)。本文中出於論述之目的，將光點大小量測為自束軸至束軸上的光學強度下降至至少光學強度的 $1/e^2$ 之位置處的徑向或橫向距離。大體而言，雷射能量光束之光點大小將在光束腰處達到最小值。一旦遞送至工件102，光束內之雷射能量之特徵可為以介於 $2\ \mu\text{m}$ 至 $200\ \mu\text{m}$ 範圍內之光點大小照射工件102。然而，應瞭解，可使光點大小小於 $2\ \mu\text{m}$ 或大於 $200\ \mu\text{m}$ 。因此，遞送至工件102之雷射能量光束可具有大於、小於或等於 $2\ \mu\text{m}$ 、 $3\ \mu\text{m}$ 、 $5\ \mu\text{m}$ 、 $7\ \mu\text{m}$ 、 $10\ \mu\text{m}$ 、 $15\ \mu\text{m}$ 、 $30\ \mu\text{m}$ 、 $35\ \mu\text{m}$ 、 $40\ \mu\text{m}$ 、 $45\ \mu\text{m}$ 、 $50\ \mu\text{m}$ 、 55

μm 、 $80\ \mu\text{m}$ 、 $100\ \mu\text{m}$ 、 $150\ \mu\text{m}$ 、 $200\ \mu\text{m}$ 等或介於此等值中之任一者之間的光點大小。

【0024】 設備100亦可包括一或多個其他光學組件（例如，光束捕集器、光束擴展器、光束塑形器、光束分光器、孔隙、濾光器、準直儀、透鏡、鏡面、稜鏡、偏振器、相位延遲器、繞射光學元件（本領域中通常稱為DOE）、折射光學元件（本領域中通常稱為ROE）等或其任何組合），以在雷射能量光束沿光束路徑114傳播時對該雷射能量光束進行聚焦、擴展、準直、塑形、偏振、濾光、分裂、組合、修剪、吸收或以其他方式修改、調節、引導等，以將雷射能量光束引導至前述第一定位器106、第二定位器等或其任何組合。

A. 雷射源

【0025】 在一個具體實例中，雷射源104可操作以產生雷射脈衝。因而，雷射源104可包括脈衝雷射源、CW雷射源、QCW雷射源、叢發模式雷射或其類似物或其任何組合。在雷射源104包括QCW或CW雷射源之情況下，雷射源104可在脈衝模式中操作，或可在非脈衝模式中操作但進一步包括脈衝閘控單元（例如，聲光（acousto-optic；AO）調變器（acousto-optic modulator；AOM）、截光器等）以在時間上調變自QCW或CW雷射源輸出之雷射輻射光束。雖然未說明，但設備100可視情況包括經組態以轉換由雷射源104輸出之光波長的一或多個諧波產生晶體（亦稱為「波長轉換晶體」）。然而，在另一具體實例中，雷射源104可提供為QCW雷射源或CW雷射源且不包括脈衝閘控單元。因此，雷射源104之特徵廣泛地可為可操作以產生雷射能量光束，該雷射能量光束可表現為一系列雷射脈衝或者連續或準連續雷射光束，該雷射能量光束此後可沿光束路徑114傳播。儘管本文中所論述之許多具體實例參考雷射脈衝，但應認識到，每當適當或需要時，可替代地或另外使用連續或準連續光束。

【0026】 由雷射源104輸出之雷射能量可具有在電磁波譜之紫外線

(ultraviolet ; UV)、可見光或紅外線 (infrared ; IR) 範圍內的一或多個波長。電磁波譜之UV範圍內之雷射能量可具有在10 nm (或10 nm上下) 至385 nm (或385 nm上下) 之範圍內的一或多個波長, 諸如100 nm、121 nm、124 nm、157 nm、200 nm、334 nm、337 nm、351 nm、380 nm等, 或介於此等值中之任一者之間。電磁波譜之可見綠色範圍內之雷射能量可具有在500 nm (或500 nm上下) 至560 nm (或560 nm上下) 之範圍內的一或多個波長, 諸如511 nm、515 nm、530 nm、532 nm、543 nm、568 nm等, 或介於此等值中之任一者之間。電磁波譜之IR範圍中之雷射能量可具有在750 nm (或750 nm上下) 至15 μm (或15 μm 上下) 之範圍內的一或多個波長, 諸如600 nm至1000 nm、752.5 nm、780 nm至1060 nm、799.3 nm、980 nm、1047 nm、1053 nm、1060 nm、1064 nm、1080 nm、1090 nm、1152 nm、1150 nm至1350 nm、1540 nm、2.6 μm 至4 μm 、4.8 μm 至8.3 μm 、9.4 μm 、10.6 μm 等, 或介於此等值中之任一者之間。

【0027】 當雷射能量光束表現為一系列雷射脈衝時, 由雷射源104輸出之雷射脈衝可具有在10 fs至900 ms之範圍內的脈衝寬度或脈衝持續時間(即, 基於脈衝中之光學功率對時間的半高全寬 (full-width at half-maximum ; FWHM))。然而, 將瞭解, 可使脈衝持續時間小於10 fs或大於900 ms。因此, 由雷射源104輸出之至少一個雷射脈衝可具有小於、大於或等於10 fs、15 fs、30 fs、50 fs、100 fs、150 fs、200 fs、300 fs、500 fs、600 fs、750 fs、800 fs、850 fs、900 fs、950 fs、1 ps、2 ps、3 ps、4 ps、5 ps、7 ps、10 ps、15 ps、25 ps、50 ps、75 ps、100 ps、200 ps、500 ps、1 ns、1.5 ns、2 ns、5 ns、10 ns、20 ns、50 ns、100 ns、200 ns、400 ns、800 ns、1000 ns、2 μs 、5 μs 、10 μs 、15 μs 、20 μs 、25 μs 、30 μs 、40 μs 、50 μs 、100 μs 、300 μs 、500 μs 、900 μs 、1 ms、2 ms、5 ms、10 ms、20 ms、50 ms、100 ms、300 ms、500 ms、900 ms、1 s等或介於此等值中之任一者之間的脈衝持續時間。

【0028】 由雷射源104輸出之雷射脈衝可具有在5 mW至50 kW範圍內之平均功率。然而，應瞭解，可使平均功率小於5 mW或大於50 kW。因此，由雷射源104輸出之雷射脈衝可具有小於、大於或等於以下各值之平均功率：5 mW、10 mW、15 mW、20 mW、25 mW、50 mW、75 mW、100 mW、300 mW、500 mW、800 mW、1 W、2 W、3 W、4 W、5 W、6 W、7 W、10 W、15 W、18 W、25 W、30 W、50 W、60 W、100 W、150 W、200 W、250 W、500 W、2 kW、3 kW、20 kW、50 kW等，或此等值中之任一者之間的值。

【0029】 雷射脈衝可由雷射源104以在5 kHz至5 GHz範圍內之脈衝重複率輸出。然而，將瞭解，可使脈衝重複率小於5 kHz或大於5 GHz。因此，雷射脈衝可由雷射源104以小於、大於或等於以下各值之脈衝重複率輸出：5 kHz、50 kHz、100 kHz、175 kHz、225 kHz、250 kHz、275 kHz、500 kHz、800 kHz、900 kHz、1 MHz、1.5 MHz、1.8 MHz、1.9 MHz、2 MHz、2.5 MHz、3 MHz、4 MHz、5 MHz、10 MHz、20 MHz、50 MHz、60 MHz、100 MHz、150 MHz、200 MHz、250 MHz、300 MHz、350 MHz、500 MHz、550 MHz、600 MHz、900 MHz、2 GHz、10 GHz等，或此等值中之任一者之間的值。

【0030】 除了波長、平均功率及（在雷射能量光束體現為一系列雷射脈衝時）脈衝持續時間及脈衝重複率之外，遞送至工件102之雷射能量光束可藉由一或多個其他特性表徵，諸如脈衝能量、峰值功率等，其可加以選擇（例如，視情況基於一或多個其他特性，諸如波長、脈衝持續時間、平均功率及脈衝重複率、光點大小，等）以在加工光點處輻照工件102，以加工工件102（例如，以形成一或多個特徵）。

【0031】 雷射源104之雷射類型之實例之特徵可為氣體雷射（例如，二氧化碳雷射、一氧化碳雷射、準分子雷射等）、固態雷射（例如，Nd:YAG雷射等）、棒雷射、光纖雷射、光子晶體棒/光纖雷射、被動模式鎖定固態塊體或光纖雷射、

染料雷射、模式鎖定二極體雷射、脈衝雷射（例如，ms、ns、ps、fs脈衝雷射）、CW雷射、QCW雷射或其類似者或其任何組合。取決於該等雷射之組態，氣體雷射（例如，二氧化碳雷射等）可經組態以在一或多個模式中（例如，在CW模式、QCW模式、脈衝模式或其任何組合中）操作。可提供為雷射源104之雷射源之特定實例包括一或多個雷射源，諸如：由EOLITE製造之BOREAS、HEGOA、SIROCCO或CHINOOK系列雷射；由PYROPHOTONICS製造之PYROFLEX系列雷射；由COHERENT製造之PALADIN Advanced 355、DIAMOND系列（例如，DIAMOND E、G、J-2、J-3、J-5系列）、FLARE NX、MATRIX QS DPSS、MEPHISTO Q、AVIA LX、AVIA NX、RAPID NX、HYPERRAPID NX、RAPID、HELIOS、FIDELITY、MONACO、OPERA或RAPID FX系列雷射；由SPECTRA PHYSICS製造之ASCEND、EXCELSIOR、EXPLORER、FEMTOTRAIN、HIGHQ-2、HIPPO、ICEFYRE、NAVIGATOR、QUANTA-RAY、QUASAR、SOLSTICS ACE、SPIRIT、TALON、VANGUARD或VGEN系列雷射；由SYNRAD製造之PULSTAR或FIRESTAR系列雷射；TRUFLOW系列雷射（例如，TRUFLOW 2000、2600、3000、3200、3600、4000、5000、6000、6000、8000、10000、12000、15000、20000）、TRUCOAX系列雷射（例如，TRUCOAX 1000）或TRUDISK、TRUPULSE、TRUDIODE、TRUFIBER或TRUMICRO系列雷射，全部由TRUMPF製造；由IMRA AMERICA製造之FCPA pJEWEL或FEMTOLITE系列雷射；由AMPLITUDE SYSTEMES製造之TANGERINE及SATSUMA系列雷射（及MIKAN及T振盪器）；由IPG PHOTONICS製造之CL、CLPF、CLPN、CLPNT、CLT、ELM、ELPF、ELPN、ELPP、ELR、ELS、FLPN、FLPNT、FLT、GLPF、GLPN、GLR、HLPN、HLPP、RFL、TLM、TLPN、TLR、ULPN、ULR、ULM、VLM、VLPN、YLM、YLPF、YLPN、YLPP、YLR、YLS、FLPM、FLPMT、DLM、BLM或DLR系列雷射（例如，包括GPLN-532-100、GPLN-532-200、GPLN-532-500、ULR/ULM ULM 355-

200，等)，等或其任何組合。

B. 第一定位器

【0032】 大體而言，第一定位器106可操作以賦予束軸相對於工件102沿著X軸（或方向）、Y軸（或方向）或其組合之移動（例如，藉由使光束路徑114在主要角度範圍116內偏轉）。儘管未說明，但Y軸（或Y方向）應理解為指正交於所說明之X及Y軸（或方向）之軸（或方向）。

【0033】 束軸相對於工件102之移動在由第一定位器106賦予時大體上受限制，使得可掃描、移動或以其他方式將加工光點定位於由掃描透鏡112投影之第一掃描場內。大體而言，且取決於諸如第一定位器106之組態、第一定位器106沿光束路徑114之位置、入射於第一定位器106上之雷射能量光束之光束大小、光點大小等一或多個因素，第一掃描場可在X或Y方向中之任一者上延伸至小於、大於或等於0.01 mm、0.04 mm、0.1 mm、0.5 mm、1.0 mm、1.4 mm、1.5 mm、1.8 mm、2 mm、2.5 mm、3.0 mm、3.5 mm、4.0 mm、4.2 mm、5 mm、10 mm、25 mm、50 mm、60 mm等或介於此等值中之任一者之間的距離。如本文中所使用，術語「光束大小」係指雷射能量光束之直徑或寬度，且可量測為自束軸至光學強度下降至沿光束路徑114之傳播軸處之光學強度之 $1/e^2$ 之位置之徑向或橫向距離。第一掃描場之最大尺寸（例如，在含有X軸及Y軸之平面（本文中稱為「X-Y平面」）中）可大於、等於或小於待形成於工件102中的特徵（例如，開口、凹部、通孔、溝槽等）之最大尺寸（如在X-Y平面中量測）。

【0034】 大體而言，第一定位器106提供為AO偏轉器（AOD）系統，其包括具有由諸如以下各者之材料形成的AO單元之一或多個AOD：結晶鍺（Ge）、砷化鎵（GaAs）、鉬鉛礦（ $PbMoO_4$ ）、二氧化碲（ TeO_2 ）、結晶石英、玻璃態 SiO_2 、三硫化砷（ As_2S_3 ）、鈮酸鋰（ $LiNbO_3$ ）等，或其任何組合。在一個具體實例中，AOD系統包括至少一個（例如，一個、兩個、三個、四個、五個、六個等）單元

件AOD、至少一個（例如，一個、兩個、三個、四個、五個、六個等）多元件AOD等，或其任何組合。僅包括一個AOD之AOD系統在本文中被稱作「單單元AOD系統（single-cell AOD system）」，且包括多於一個AOD之AOD系統在本文中被稱作「多單元AOD系統（multi-cell AOD system）」。如本文中所使用，「單元件」AOD係指僅具有聲學耦接至AO單元之一個超音波換能器元件的AOD，而「多元件」AOD包括聲學耦接至共同AO單元之至少兩個超音波換能器元件。AOD系統可藉由以對應方式使光束路徑114偏轉而提供為單軸AOD系統（例如，可操作以使束軸沿單一軸偏轉）或提供為多軸AOD系統（例如，可操作以使束軸沿一或多個軸偏轉，諸如沿X軸、沿Y軸或其任何組合）。大體而言，多軸AOD系統可提供為單單元或多單元AOD系統。多單元多軸AOD系統典型地包括多個AOD，該等AOD各自可操作以使束軸沿不同軸偏轉。舉例而言，多單元多軸系統可包括可操作以使束軸沿一個軸（例如，沿X軸）偏轉之第一AOD（例如，單元件或多元件AOD系統），及可操作以使束軸沿第二軸（例如，沿Y軸）偏轉之第二AOD（例如，單元件或多元件AOD）。單單元多軸系統典型地包括單一AOD，該AOD可操作以使束軸沿兩個軸（例如，沿X及Y軸）偏轉。舉例而言，單單元多軸系統可包括聲學耦接至共同AO單元之正交配置平面、刻面、側面等的至少兩個超音波換能器元件。

【0035】 如所屬技術領域中具有通常知識者將認識到，AO技術（例如，AOD、AOM等）利用由一或多個聲波產生之繞射效應，該一或多個聲波傳播通過AO單元（即，沿AOD之「繞射軸」）以使入射光波（即，在本申請案之上下文中，雷射能量光束）繞射，同時傳播通過AO單元（即，沿AOD內之「光軸」）。使入射雷射能量光束繞射產生繞射圖案，其典型地包括零階及一階繞射峰，且亦可包括其他高階繞射峰（例如，二階、三階等）。如此項技術中已知，雷射光之繞射光束在零階繞射峰中之部分被稱為「零階」光束，雷射光之繞射光束在一階

繞射峰中之部分被稱為「一階」光束，等等。大體而言，零階光束及其他繞射階光束（例如，一階光束等）在射出AO單元（例如，穿過AO單元之光學輸出側）後沿不同光束路徑傳播。舉例而言，零階光束沿零階光束路徑傳播，一階光束沿一階光束路徑傳播，等等。

【0036】 典型地藉由將RF驅動信號（例如，來自第一定位器106之一或多個驅動器）施加至超音波換能器元件而將聲波發射至AO單元中。可控制（例如，基於由控制器122、組件特定控制器或其類似者或其任何組合輸出之一或多個控制信號）RF驅動信號之特性（例如，振幅、頻率、相位等）以調整繞射入射光波之方式。舉例而言，所施加RF驅動信號之頻率將判定光束路徑114偏轉之角度。如此項技術中已知，可如下計算光束路徑114偏轉之角度 θ ：

$$\theta = \frac{\lambda \cdot f}{v}$$

其中 λ 為雷射能量光束之光學波長（以nm量測）， f 為所施加RF驅動信號之頻率（以Hz量測），且 v 為聲波在AO單元中之速度（以m/s量測）。若所施加RF驅動信號之頻率由多個頻率構成，則光束路徑114將同時偏轉多個角度。

【0037】 射出AO單元之一階光束路徑可典型地被視為已在AO單元內旋轉或偏轉之光束路徑114。除非本文中另外明確地陳述，否則射出AO單元之光束路徑114對應於一階光束路徑。當操作或驅動AOD以使入射雷射能量光束繞射時，射出AO單元之光束路徑114旋轉（例如，在入射於AO單元上時相對於光束路徑114）所圍繞的軸線（在本文中亦稱為「旋轉軸」）與AO單元之繞射軸及入射雷射能量光束在AO單元內傳播所沿之光軸兩者正交。因此，AOD使入射光束路徑114在含有（或另外大體平行於）AO單元之繞射軸及AO單元內之光軸的平面（在本文中亦稱為「偏轉平面」）內偏轉。AOD可使光束路徑114在偏轉平面內偏轉所跨越的空間範圍在本文中被稱作彼AOD之「掃描場」。因此，第一定位器106之第一掃描場可被視為對應於單一AOD之掃描場（例如，在第一定位器106

包括單一AOD之情況下)，或對應於多個AOD之經組合掃描場（例如，在第一定位器106包括多個AOD之情況下）。

【0038】 第一定位器106之特徵可為具有「第一定位速率」，其係指第一定位器106將加工光點定位於第一掃描場內之任何位置處（因此移動束軸）的速率。舉例而言，第一定位速率可大於、等於或小於8 kHz、10 kHz、20 kHz、30 kHz、40 kHz、50 kHz、75 kHz、80 kHz、100 kHz、250 kHz、500 kHz、750 kHz、1 MHz、5 MHz、10 MHz、20 MHz、40 MHz、50 MHz、75 MHz、100 MHz、125 MHz、150 MHz、175 MHz、200 MHz、225 MHz、250 MHz等，或介於此等值中之任一者之間。此範圍在本文中亦稱為第一定位頻寬。在第一定位器106之操作期間，RF驅動信號重複地施加至第一定位器106之一或多個超音波換能器，且第一定位頻寬對應於（例如，等於，或至少實質上等於）施加RF驅動信號之速率。施加驅動信號之速率亦稱為「更新速率」或「再新速率」。第一定位速率之倒數在本文中被稱作「第一定位週期」，且因此指在加工光點之位置自第一掃描場內之一個位置改變至第一掃描場內之另一位置之前經過的最小時間量。因此，第一定位器106之特徵可為具有大於、等於或小於200 μs 、125 μs 、100 μs 、50 μs 、33 μs 、25 μs 、20 μs 、15 μs 、13.3 μs 、12.5 μs 、10 μs 、4 μs 、2 μs 、1.3 μs 、1 μs 、0.2 μs 、0.1 μs 、0.05 μs 、0.025 μs 、0.02 μs 、0.013 μs 、0.01 μs 、0.008 μs 、0.0067 μs 、0.0057 μs 、0.0044 μs 、0.004 μs 等或介於此等值中之任一者之間的第一定位週期。

【0039】 將瞭解，形成AO單元之材料將取決於沿光束路徑114傳播以便入射於AO單元上之雷射能量的波長。舉例而言，可使用諸如結晶鍺之材料，其中待偏轉之雷射能量之波長在2 μm （或2 μm 上下）至20 μm （或20 μm 上下）之範圍內，可使用諸如砷化鎵及三硫化砷之材料，其中待偏轉之雷射能量光束之波長在1 μm （或1 μm 上下）至11 μm （或11 μm 上下）之範圍內，且可使用諸如玻璃態SiO₂、石英、鋰酸鋰、鋁鉛礦及二氧化碲之材料，其中待偏轉之雷射能量之波

長在200 nm（或200 nm上下）至5 μm （或5 μm 上下）之範圍內。

【0040】 在藉由雷射源104輸出的雷射能量光束體現為一系列雷射脈衝時，可操作第一定位器106以使光束路徑114偏轉主要角度範圍116內的不同角度。在一個具體實例中，第一定位週期大於或等於雷射脈衝中之每一者之脈衝持續時間。因此，在以固定RF驅動頻率（或一組固定RF驅動頻率）驅動AOD時，雷射脈衝可通過AOD之AO單元。維持在雷射脈衝通過AOD之AO單元時施加至AOD的固定RF驅動頻率（或一組固定RF驅動頻率）通常導致在雷射脈衝之整個脈衝持續時間內使雷射脈衝均勻地偏轉，且因此亦可稱為「整個脈衝偏轉」。然而，在另一具體實例中，第一定位週期可低於雷射脈衝之脈衝持續時間；因此，在RF驅動頻率（或一組RF驅動頻率內的頻率）改變時，雷射脈衝可通過AOD之AO單元。在雷射脈衝通過AOD之AO單元時改變施加至AOD的RF驅動頻率可導致在時間上劃分雷射脈衝，且因此亦可稱為「部分脈衝偏轉」或「脈衝分片」。在下文將更詳細地描述脈衝分片之某些態樣。儘管脈衝分片技術在本文中描述為應用於在時間上劃分雷射脈衝，但將瞭解，此等技術可同樣適用於在時間上劃分體現為連續或準連續雷射光束之雷射能量光束。

C. 第二定位器

【0041】 大體而言，第二定位器108可操作以賦予束軸相對於工件102沿X軸（或方向）、Y軸（或方向）或其組合之移動（例如，藉由使光束路徑114在輔助角度範圍118內偏轉）。

【0042】 如由第二定位器108賦予的束軸相對於工件102之移動大體上受限制，使得加工光點可掃描、移動或以其他方式定位於由掃描透鏡112投影之第二掃描場內。大體而言，且取決於諸如第二定位器108之組態、第二定位器108沿光束路徑114之位置、入射於第二定位器108上之雷射能量光束的光束大小、光點大小等一或多個因素，第二掃描場可在X或Y方向中之任一者上延伸至大於第一

掃描場之對應距離的距離。鑒於上文，第二掃描場可在X或Y方向中之任一者上延伸至小於、大於或等於1 mm、25 mm、50 mm、75 mm、100 mm、250 mm、500 mm、750 mm、1 cm、25 cm、50 cm、75 cm、1 m、1.25 m、1.5 m等或介於此等值中之任一者之間的距離。第二掃描場之最大尺寸（例如，在X-Y平面中）可大於、等於或小於待形成於工件102中之特徵（例如，開口、凹部、通孔、溝槽、切割道、導電跡線等）之最大尺寸（如在X-Y平面中所量測）。

【0043】 鑒於本文中所述之組態，應認識到，由第一定位器106賦予的束軸之移動可與由第二定位器108賦予的束軸之移動疊加。因此，第二定位器108可操作以在第二掃描場內掃描第一掃描場。

【0044】 大體而言，第二定位器108能夠將加工光點定位於第二掃描場內之任何位置處（因此使束軸在第二掃描場內移動及/或在第二掃描場內掃描第一掃描場）的定位速率跨越小於第一定位頻寬之範圍（在本文中亦稱為「第二定位頻寬（second positioning bandwidth）」）。在一個具體實例中，第二定位頻寬在500 Hz（或500 Hz上下）至8 kHz（或8 kHz上下）範圍內。舉例而言，第二定位頻寬可大於、等於或小於500 Hz、750 Hz、1 KHz、1.25 KHz、1.5 KHz、1.75 KHz、2 KHz、2.5 KHz、3 KHz、3.5 KHz、4 KHz、4.5 KHz、5 KHz、5.5 KHz、6 KHz、6.5 KHz、7 KHz、7.5 KHz、8 KHz等，或介於此等值中之任一者之間。

【0045】 在一個具體實例中，第二定位器108可提供為包括兩個電流計鏡面組件之電流計鏡面系統，即，經配置以賦予束軸相對於工件102沿X軸之移動的第一電流計鏡面組件（例如，X軸電流計鏡面組件），及經配置以賦予束軸相對於工件102沿Y軸之移動的第二電流計鏡面組件（例如，Y軸電流計鏡面組件）。然而，在另一具體實例中，第二定位器108可提供為僅包括單一電流計鏡面組件之電流計鏡面系統，該單一電流計鏡面組件經配置以賦予束軸相對於工件102沿X及Y軸之移動。在另外其他具體實例中，第二定位器108可提供作為旋轉多邊形

反射鏡系統等。因此應瞭解，視第二定位器108及第一定位器106之特定組態而定，第二定位頻寬可大於或等於第一定位頻寬。

D. 第三定位器

【0046】 第三定位器110可操作以賦予工件102（例如，工件102a及102b）相對於掃描透鏡112之移動，且因此賦予工件102相對於束軸之移動。工件102相對於束軸之移動大體上受限制，使得加工光點可掃描、移動或以其他方式定位於第三掃描場內。取決於諸如第三定位器110之組態的一或多個因素，第三掃描場可在X方向、Y方向或其任何組合上延伸至大於或等於第二掃描場之對應距離的距離。然而，大體而言，第三掃描場之最大尺寸（例如，在X-Y平面中）將大於或等於待形成於工件102中之任何特徵之對應最大尺寸（如在X-Y平面中所量測）。視情況，第三定位器110可操作以使工件102相對於束軸在掃描場內移動，該掃描場在Z方向上（例如，在1 mm與50 mm之間的範圍內）延伸。因此，第三掃描場可沿X、Y及/或Z方向延伸。

【0047】 鑒於本文中所描述之組態，應認識到，加工光點相對於工件102之移動（例如，如由第一定位器106及/或第二定位器108賦予）可與如由第三定位器110賦予的工件102之移動重疊。因此，第三定位器110可操作以在第三掃描場內掃描第一掃描場及/或第二掃描場。大體而言，第三定位器110能夠將工件102定位於第三掃描場內之任何位置處（因此移動工件102，在第三掃描場內掃描第一掃描場及/或在第三掃描場內掃描第二掃描場）的定位速率跨越小於第二定位頻寬之範圍（在本文中亦稱為「第三定位頻寬（third positioning bandwidth）」）。在一個具體實例中，第三定位頻寬小於500 Hz（或500 Hz上下）。舉例而言，第三定位頻寬可等於或小於500 Hz、250 Hz、150 Hz、100 Hz、75 Hz、50 Hz、25 Hz、10 Hz、7.5 Hz、5 Hz、2.5 Hz、2 Hz、1.5 Hz、1 Hz等，或介於此等值中之任一者之間。

【0048】 在一個具體實例中，第三定位器110提供為一或多個線性平台（例如，各自能夠賦予工件102沿X、Y及/或Z方向之平移移動）、一或多個旋轉平台（例如，各自能夠賦予工件102圍繞平行於X、Y及/或Z方向之軸的旋轉移動），或其類似者或其任何組合。在一個具體實例中，第三定位器110包括用於使工件102沿著X方向移動的X平台，及由X平台支撐（且因此可藉由X平台沿著X方向移動）的用於使工件102沿著Y方向移動的Y平台。

【0049】 如目前所描述，設備100可將所謂的「堆疊式」定位系統用作第三定位器110，該第三定位器使工件102能夠移動，同時諸如第一定位器106、第二定位器108、掃描透鏡112等其他組件之位置保持在設備100內相對於工件102靜止（例如，經由一或多個支撐件、框架等，如此項技術中已知）。在另一具體實例中，第三定位器110可經配置且可操作以使諸如第一定位器106、第二定位器108、掃描透鏡112或其類似者或其任何組合之一或多個組件移動，且工件102可保持靜止。

【0050】 在又一具體實例中，第三定位器110可提供為所謂的「分裂軸（split-axis）」定位系統，其中諸如第一定位器106、第二定位器108、掃描透鏡112或其類似者或其任何組合之一或多個組件由一或多個線性或旋轉平台承載（例如，安裝於框架、台架等上）且工件102由一或多個其他線性或旋轉平台承載。在此類具體實例中，第三定位器110包括經配置且可操作以使諸如掃描頭（例如，包括第二定位器108及掃描透鏡112）之一或多個組件移動的一或多個線性或旋轉平台，及經配置且可操作以使工件102移動的一或多個線性或旋轉平台。舉例而言，第三定位器110可包括用於賦予工件102沿Y方向之移動的Y平台及用於賦予掃描頭沿X方向之移動的X平台。可有益地或有利地用於設備100中之分裂軸定位系統的一些實例包括以下各項中所揭示之系統中的任一者：美國專利第5,751,585號、第5,798,927號、第5,847,960號、第6,606,999號、第7,605,343號、第

8,680,430號、第8,847,113號或美國專利申請公開案第2014/0083983號或其任何組合，其中之每一者以全文引用之方式併入本文中。

【0051】 在第三定位器110包括Z平台之一個具體實例中，Z平台可經配置且經組態以使工件102沿Z方向移動。在此情況下，Z平台可由其他前述平台中之一或多者承載以用於移動或定位工件102，可承載其他前述平台中之一或多者承載以用於移動或定位工件102，或其任何組合。在第三定位器110包括Z平台之另一具體實例中，Z平台可經配置且經組態以沿Z方向移動掃描頭。因此，在第三定位器110提供為分離平台定位系統之情況下，Z平台可承載X平台或由X平台承載。沿Z方向移動工件102或掃描頭可導致工件102處之光點大小改變。

【0052】 在又一具體實例中，諸如第一定位器106、第二定位器108、掃描透鏡112等一或多個組件可由鉸接式多軸機器人臂（例如，2軸、3軸、4軸、5軸或6軸臂）承載。在此具體實例中，第二定位器108及/或掃描透鏡112可視情況由機器人臂之末端執行器承載。在又一具體實例中，工件102可直接承載於鉸接式多軸機器人臂之末端執行器上（即，不具有第三定位器110）。在又一具體實例中，第三定位器110可承載於鉸接式多軸機器人臂之末端執行器上。

E. 掃描透鏡

【0053】 掃描透鏡112（例如，提供為簡單透鏡或化合物透鏡）大體上經組態以聚焦沿光束路徑引導之雷射能量光束，典型地以便產生可定位於所要加工光點處或附近的光束腰。掃描透鏡112可提供為f- θ 透鏡（如所展示）、遠心f- θ 透鏡、軸錐透鏡（在此情況下，產生一系列光束腰，從而得到沿束軸彼此移位的複數個加工光點），或其類似者或其任何組合。

【0054】 在一個具體實例中，掃描透鏡112提供為固定焦距透鏡，且耦接至可操作以移動掃描透鏡112（例如，以便改變光束腰沿束軸之位置）之掃描透鏡定位器（例如，透鏡致動器，圖中未示）。舉例而言，透鏡致動器可提供為可

操作以使掃描透鏡112沿Z方向線性地平移之音圈。在此情況下，掃描透鏡112可由諸如以下各物之材料形成：熔融矽石、光學玻璃、硒化鋅、硫化鋅、鍺、砷化鎵、氟化鎂等。在另一具體實例中，掃描透鏡112提供為可變焦距透鏡（例如，變焦透鏡，或併有由COGNEX、VARIOPTIC等當前提供之技術的所謂「液體透鏡（liquid lens）」），該可變焦距透鏡能夠經致動（例如，經由透鏡致動器）以改變光束腰沿束軸之位置。改變光束腰沿束軸之位置可導致工件102處之光點大小改變。

【0055】 在設備100包括透鏡致動器之具體實例中，透鏡致動器可耦接至掃描透鏡112（例如，以便實現掃描透鏡112在掃描頭內相對於第二定位器108之移動）。替代地，透鏡致動器可耦接至掃描頭120（例如，以便實現掃描頭自身之移動，在此情況下，掃描透鏡112及第二定位器108將一起移動）。在另一具體實例中，掃描透鏡112及第二定位器108整合至不同外殼中（例如，使得整合有掃描透鏡112之外殼可相對於整合有第二定位器108之外殼移動）。

F. 控制器

【0056】 大體而言，設備100包括一或多個控制器，諸如控制器122，以控制或促進控制設備100之操作。在一個具體實例中，控制器122（例如，經由一或多個有線或無線、串列或並列之通信鏈路，諸如USB、RS-232、乙太網路、Firewire、Wi-Fi、RFID、NFC、藍芽、Li-Fi、SERCOS、MARCO、EtherCAT，或其類似者或其任何組合）以通信方式耦接至設備100之一或多個組件，諸如雷射源104、第一定位器106、第二定位器108、第三定位器110、透鏡致動器、掃描透鏡112（當提供為可變焦距透鏡時）等，該一或多個組件因此可回應於由控制器122輸出之一或多個控制信號而操作。

【0057】 舉例而言，控制器122可控制第一定位器106、第二定位器108或第三定位器110或其任何組合之操作，以賦予束軸與工件之間的相對移動，以便

引起加工光點與工件102之間沿工件102內之路徑或軌跡（在本文中亦被稱作「製程軌跡（process trajectory）」）的相對移動。將瞭解，可控制此等定位器中之任兩者或此等定位器中之全部三者，使得兩個定位器（例如，第一定位器106及第二定位器108、第一定位器106及第三定位器110，或第二定位器108及第三定位器110）或全部三個定位器同時賦予加工光點與工件102之間的相對移動（從而賦予束軸與工件之間的「複合相對移動（compound relative movement）」）。當然，在任何時間，有可能僅控制一個定位器（例如，第一定位器106、第二定位器108或第三定位器110）以賦予加工光點與工件102之間的相對移動（從而賦予束軸與工件之間的「非複合相對移動（non-compound relative movement）」）。

【0058】 在一個具體實例中，控制器122可控制第一定位器106之操作以使光束路徑114以賦予複合相對移動（例如，與第二定位器108協調、與第三定位器110協調，或其任何組合）或束軸與每一工件102之間的非複合相對移動的方式在主要角度範圍116內偏轉，以便引起加工光點與工件102之間沿工件102內之製程軌跡的相對移動。在另一具體實例中，控制器122可控制第一定位器106之操作從而以補償由第二定位器108引入之追蹤誤差的方式使光束路徑114在每一主要角度範圍116內偏轉。

【0059】 可控制前述組件中之一或多者以執行的操作之一些其他實例包括任何操作、功能、製程及方法等，如在前述美國專利第5,751,585號、5,847,960號、6,606,999號、8,680,430號、8,847,113號中所揭示，或如在美國專利第4,912,487號、第5,633,747號、第5,638,267號、第5,917,300號、第6,314,463號、第6,430,465號、第6,600,600號、第6,606,998號、第6,816,294號、第6,947,454號、第7,019,891號、第7,027,199號、第7,133,182號、第7,133,186號、第7,133,187號、第7,133,188號、第7,244,906號、第7,245,412號、第7,259,354號、第7,611,745號、第7,834,293號、第8,026,158號、第8,076,605號、第8,288,679號、第8,404,998號、第8,497,450

號、第8,648,277號、第8,896,909號、第8,928,853號、第9,259,802號中所揭示，或在美國專利申請公開案第2014/0026351號、第2014/0196140號、第2014/0263201號、第2014/0263212號、第2014/0263223號、第2014/0312013號中所揭示，或在德國專利第DE102013201968B4號中所揭示，或在國際專利公開案第WO2009/087392號中所揭示，其中之每一者以全文引用之方式併入本文中。在另一實例中，控制器122可控制包括一或多個AOD之任何定位器（例如，在一些具體實例中，第一定位器106、第二定位器108或其組合）的操作以改變遞送至加工光點之雷射能量光束之光點形狀或光點大小（例如，藉由啁啾(chirping)施加至一或多個AOD之一或多個超音波換能器元件的RF信號，藉由將經光譜塑形之RF信號施加至一或多個AOD之一或多個超音波換能器元件，或其類似操作或其任何組合），如例如國際專利公開案第WO2017/044646A1號中所揭示，其以全文引用之方式併入本文中。所施加之RF信號可以任何所要或適合方式線性地或非線性地啁啾。舉例而言，所施加之RF信號可以第一速率且接著以第二速率啁啾，以使雷射能量光束繞射，從而以兩種不同方式運送AO單元。在此情況下，第一速率可比第二速率慢或快。

【0060】 大體而言，控制器122包括可操作以在執行指令後產生前述控制信號之一或多個處理器。處理器可提供為可操作以執行指令之可程式化處理器（例如，包括一或多個通用電腦處理器、微處理器、數位信號處理器或其類似者或其任何組合）。可由處理器執行之指令可實施為軟體、韌體等，或為任何適合形式之電路系統，包括可程式化邏輯裝置（programmable logic device；PLD）、場可程式化閘陣列（field-programmable gate array；FPGA）、場可程式化物件陣列（field-programmable object array；FPOA）、特定應用積體電路（application-specific integrated circuit；ASIC）-包括數位、類比及混合類比/數位電路系統，或其類似者或其任何組合。指令之執行可在一個處理器上執行、分配在多個處理器

中、跨一裝置內之處理器或跨裝置之網路並行地進行，或其類似者或其任何組合。

【0061】 在一個具體實例中，控制器122包括諸如電腦記憶體之有形媒體，其可藉由處理器存取（例如，經由一或多個有線或無線通信連結）。如本文中所使用，「電腦記憶體」包括磁性媒體（例如，磁帶、硬碟機等）、光碟、揮發性或非揮發性半導體記憶體（例如，RAM、ROM、反及型快閃記憶體、反或型快閃記憶體、SONOS記憶體等）等，且可本端、遠端（例如，跨網路）或以其組合方式存取。大體而言，指令可儲存為可易於由技術人員根據本文中所提供之描述授權的電腦軟體（例如，可執行碼、檔案、指令等，庫檔案等），其例如以C、C++、Visual Basic、Java、Python、Tel、Perl、Scheme、Ruby、組合語言、硬體描述語言（例如，VHDL、VERILOG等）等編寫。電腦軟體通常儲存於藉由電腦記憶體輸送之一或多個資料結構中。

【0062】 儘管圖中未示，但一或多個驅動器（例如，RF驅動器、伺服驅動器、線驅動器、電源等）可以通信方式耦接至一或多個組件之輸入端以用於控制此等組件，該一或多個組件諸如雷射源104、第一定位器106、第二定位器108、第三定位器110、透鏡致動器、掃描透鏡112（當提供為可變焦距透鏡時）等。因此，諸如雷射源104、第一定位器106、第二定位器108、第三定位器110、透鏡致動器、掃描透鏡112（當提供為可變焦距透鏡時）等一或多個組件可被視為亦包括任何適合驅動器，如此項技術中已知。此等驅動器中之每一者典型地將包括以通信方式耦接至控制器122之輸入端，且控制器122可操作以產生一或多個控制信號（例如，觸發信號等），該一或多個控制信號可傳輸至與設備100之一或多個組件相關聯的一或多個驅動器。諸如雷射源104、第一定位器106、第二定位器108、第三定位器110、透鏡致動器、掃描透鏡112（當提供為可變焦距透鏡時）等組件因此回應於由控制器122產生之控制信號。

【0063】 儘管圖中未示，但一或多個額外控制器（例如，組件特定控制器）可視情況以通信方式耦接至驅動器之輸入端，該輸入端以通信方式耦接至諸如雷射源104、第一定位器106、第二定位器108、第三定位器110、透鏡致動器、掃描透鏡112（當提供為可變焦距透鏡時）等組件（且因此與該組件相關聯）。在此具體實例中，每一組件特定控制器可以通信方式耦接至控制器122且可操作以回應於自控制器122接收之一或多個控制信號而產生一或多個控制信號（例如，觸發信號等），該一或多個控制信號可接著傳輸至控制器以通信方式耦接至的驅動器之輸入端。在此具體實例中，組件特定控制器可以與關於控制器122所描述之方式類似的方式操作。

【0064】 在提供一或多個組件特定控制器之另一具體實例中，與一個組件（例如，雷射源104）相關聯的組件特定控制器可以通信方式耦接至與一個組件（例如，第一定位器106等）相關聯的組件特定控制器。在此具體實例中，組件特定控制器中之一或多者可操作以回應於自一或多個其他組件特定控制器接收的一或多個控制信號而產生一或多個控制信號（例如，觸發信號等）。

III. 關於多軸AOD系統之額外論述

【0065】 在本文中論述的眾多具體實例中，第一定位器106提供為多軸AOD系統。取決於AOD系統內之AOD之構造，AOD可表徵為縱向模式AOD或剪切模式AOD，且可操作以使經線性偏振或圓形偏振之雷射能量光束繞射。因此，取決於雷射能量光束之波長及形成AOD系統中之AOD之AO單元的材料，AOD可經定向，使得AOD中之AO單元之繞射軸平行或垂直於（或至少實質上平行或垂直於）入射至該AO中之雷射能量光束的偏振平面。舉例而言，若雷射能量光束之波長在電磁波譜之紫外線或可見綠色範圍內且AOD之AO單元由諸如石英之材料形成，則AOD可經定向以使得AO單元之繞射軸垂直於（或至少實質上垂直於）入射至該AO單元中之雷射能量光束的偏振平面。在另一實例中，若雷射

能量光束之波長在電磁光譜之所謂的中波長或長波長紅外線範圍之內（即，跨越 $3\ \mu\text{m}$ （或 $3\ \mu\text{m}$ 上下）至 $15\ \mu\text{m}$ （或 $15\ \mu\text{m}$ 上下）之範圍內的波長）且AOD之AO單元由諸如結晶銻之材料形成，則AOD可經定向以使得AO單元之繞射軸平行於（或至少實質上平行於）入射至該AO單元中之雷射能量光束的偏振平面。

【0066】 參考圖2，多軸AOD系統可提供為包括第一AOD 202及第二AOD 204之多單元多軸AOD系統200。第一AOD 202及第二AOD 204兩者皆可以如上文所描述之任何方式提供。第一AOD 202經配置且可操作以使入射雷射能量光束（例如，沿光束路徑114傳播）圍繞第一旋轉軸在第一角度範圍（在本文中亦被稱作「第一AOD角度範圍206」）內旋轉任何角度（例如，如相對於入射於第一AOD 202上之光束路徑114所量測），以便透射沿經偏轉光束路徑114傳播之一階光束。同樣，第二AOD 204經配置且可操作以使由第一AOD 202傳輸的入射雷射能量光束繞第二旋轉軸旋轉在第二角度範圍（在本文中亦稱為「第二AOD角度範圍208」）內的任何角度（例如，如相對於入射於第二AOD 204上的光束路徑114'所量測），以便傳輸沿著偏轉光束路徑114''傳播的一階光束。如將瞭解，光束路徑114'及光束路徑114''中之每一者表示雷射能量光束傳播可沿之路徑之特定實例；因此，光束路徑114'及光束路徑114''中之每一者在本文中亦可一般被稱作「光束路徑114」。

【0067】 大體而言，第二AOD 204相對於第一AOD 202定向，使得第二旋轉軸不同於第一旋轉軸。舉例而言，第二旋轉軸可正交於第一旋轉軸或相對於第一旋轉軸傾斜。鑒於AOD之繞射軸與AOD之旋轉軸正交，第二AOD 204之繞射軸（亦稱為「第二繞射軸」）可因此相對於第一AOD 202之繞射軸（亦稱為「第一繞射軸」）正交或傾斜。然而，在另一具體實例中，第二AOD 204相對於第一AOD 202定向，使得第二旋轉軸平行於（或至少實質上平行於）第一旋轉軸。在此情況下，一或多個光學組件可配置於光束路徑114'中以旋轉第一AOD 202之偏

轉平面(例如,90度或在90度上下),使得在投影至第二AOD 204上時,第一AOD 202之偏轉平面相對於第二AOD 204之偏轉平面之定向旋轉(例如,90度或在90度上下),且第二繞射軸可平行於(或至少實質上平行於)第一繞射軸。偏轉平面可如何旋轉之實例(如上文所論述)請參見例如國際公開案第WO 2019/060590 A1號。在以上文所描述的方式旋轉第一AOD 202之偏轉平面時,在投影至第二AOD 204上時,第一繞射軸相對於第二繞射軸之定向旋轉(例如,90度或在90度上下)。

【0068】 大體而言,第一AOD 202中之AO單元由可與第二AOD 204中之AO單元相同或不同之材料形成。另外,第一AOD 202用以(即,剪切模式或縱向模式)使入射雷射能量光束偏轉之聲波類型可與第二AOD 204用以使入射雷射能量光束偏轉之聲波類型相同或不同。

【0069】 將瞭解,可在任何時間操作AOD系統200,使得僅第一AOD 202產生一階光束,僅第二AOD 204產生一階光束,或第一AOD 202及第二AOD 204皆兩者產生一階光束。因此,由第一定位器106產生之光束路徑114的偏轉可被視為僅由自光束路徑114'獲得之偏轉引起,僅由自光束路徑114"獲得之偏轉引起,或由自光束路徑114'及114"獲得之偏轉的疊加引起。同樣,主要角度範圍116可僅被視為第一AOD角度範圍206,僅被視為第二AOD角度範圍208,或被視為第一AOD角度範圍206及第二AOD角度範圍208之疊加。當第一定位器106提供為AOD系統(諸如,AOD系統200)時,第一定位器106可視情況包括一或多個其他額外光學組件,諸如光束捕集器、光束擴展器、光束塑形器、孔隙、濾光器、準直儀、透鏡、鏡面、相位延遲器、偏振器或其類似者或其任何組合。

IV. 關於AOD系統中的繞射效率之論述

【0070】 如本文中所使用,術語「繞射效率」係指入射於AOD上之雷射能量光束中之能量的比例,該雷射能量光束在AOD之AO單元內繞射成一階光束。

繞射效率可因此表示為由AOD產生之一階光束中之光學功率與入射於AOD上之入射雷射能量光束之光學功率的比率。大體而言，所施加RF驅動信號之振幅可對AOD之繞射效率具有非線性影響，且AOD之繞射效率亦可隨經施加以驅動AOD之RF驅動信號之頻率而改變。鑒於上文，且在第一定位器106提供為前述AOD系統200之具體實例中，經施加以驅動第一AOD 202之第一RF驅動信可表徵為具有振幅（在本文中亦稱為「第一振幅」），且經施加以驅動第二AOD 204之第二RF驅動信號可表徵為具有振幅（在本文中亦稱為「第二振幅」）。

【0071】 大體而言，可基於一或多個因素而選擇或以其他方式設定第一振幅，該一或多個因素諸如第一RF驅動信號之第一驅動頻率、第一AOD 202待由第一RF驅動信號驅動之所要繞射效率、待在第一AOD 202待由第一RF驅動信號驅動時之週期期間偏轉之雷射能量光束的峰值光學功率、待在第一AOD 202待由第一RF驅動信號驅動時之週期期間偏轉之雷射能量光束的平均光學功率等或其任何組合。同樣，可基於一或多個因素而選擇或以其他方式設定第二振幅，該一或多個因素諸如第二RF驅動信號之第二驅動頻率、第二AOD 204待由第二RF驅動信號驅動之所要繞射效率、待在第二AOD 204待由第二RF驅動信號驅動時之週期期間偏轉之雷射能量光束的峰值光學功率、待在第二AOD 204待由第二RF驅動信號驅動時之週期期間偏轉之雷射能量光束的平均光學功率等或其任何組合。

V. 關於脈衝分片之具體實例

【0072】 如上文所論述，不管提供為單軸AOD系統還是多軸AOD系統（諸如AOD系統200），第一定位器106皆可操作以實現脈衝分片，即，將共同雷射脈衝（在本文中亦稱為「母雷射脈衝」）在時間上劃分成至少兩個雷射脈衝。共同母雷射脈衝之在時間上經劃分之部分在本文中亦稱為「脈衝片段」。如將瞭解，脈衝片段可視為一種類型的雷射脈衝。

【0073】 圖3中例示性地說明脈衝分片之一個具體實例，其中母雷射脈衝300在時間上劃分成兩個脈衝片段。具體言之，在第一片段週期 $p1$ 期間，母雷射脈衝300被劃分成第一脈衝片段300a，且在第二片段週期 $p2$ 期間，母雷射脈衝300被劃分成第二脈衝片段300b。如將瞭解，脈衝片段之脈衝持續時間大體上對應於自母雷射脈衝在時間上劃分之片段週期的持續時間。因此，舉例而言，第一脈衝片段300a可表徵為具有等於第一片段週期 $p1$ 之脈衝持續時間，且第二脈衝片段300b可表徵為具有等於第二片段週期 $p2$ 之脈衝持續時間。另外，如將瞭解，脈衝片段之脈衝持續時間可對應於（例如，等於，或至少實質上等於）第一定位器106在脈衝分片期間之更新速率、第一定位器106在脈衝分片期間之更新速率之整數倍，或其組合。

【0074】 連續片段週期可連續地發生（即，其中一個片段週期緊接在前一片段週期之後開始），可間歇地發生（即，其中一個片段週期在緊接在前一片段週期之後的延遲之後開始），或其組合。在連續片段週期間歇地發生之情況下，將瞭解，延遲之持續時間之特徵可為第一定位器106之定位週期之整數倍（其中整數可為任何整數，諸如1、2、3、4、5、10、20、50、100等，或介於此等值中之任一者之間）。圖3中所展示之具體實例為連續片段週期 $p1$ 及 $p2$ 間歇地發生之實例。鑒於前述內容，將瞭解，由AOD系統200輸出之脈衝片段可構成脈衝重複率等於AOD系統200之更新速率（在AOD系統200操作以實現脈衝分片時）或為其倍數之雷射能量光束。

【0075】 初始片段週期開始與待應用於共同母雷射脈衝之最末片段週期結束之間的時間之總量小於或等於母雷射脈衝之脈衝持續時間（即，基於脈衝之光學功率對時間的半高全寬（full-width at half-maximum；FWHM））。母雷射脈衝可大體表徵為具有大於第一定位器106之定位週期的脈衝持續時間。在一些具體實例中，母雷射脈衝之脈衝持續時間大於、等於或小於 $1\ \mu\text{s}$ 、 $2\ \mu\text{s}$ 、 $5\ \mu\text{s}$ 、 10

μs 、 $15\ \mu\text{s}$ 、 $20\ \mu\text{s}$ 、 $25\ \mu\text{s}$ 、 $30\ \mu\text{s}$ 、 $40\ \mu\text{s}$ 、 $50\ \mu\text{s}$ 、 $100\ \mu\text{s}$ 、 $300\ \mu\text{s}$ 、 $500\ \mu\text{s}$ 、 $900\ \mu\text{s}$ 、 $1\ \text{ms}$ 、 $2\ \text{ms}$ 、 $5\ \text{ms}$ 、 $10\ \text{ms}$ 、 $20\ \text{ms}$ 、 $50\ \text{ms}$ 、 $100\ \text{ms}$ 、 $300\ \text{ms}$ 、 $500\ \text{ms}$ 、 $900\ \text{ms}$ 、 $1\ \text{s}$ 等或介於此等值中之任一者之間。

【0076】 在一個具體實例中，每一片段週期之持續時間（且因此，每一脈衝片段之脈衝持續時間）為第一定位器106之定位週期的整數倍（例如，其中整數為1、2、3、5、10等，或介於此等值中之任一者之間等）。在一些具體實例中，每一片段週期之持續時間大於、等於或小於 $200\ \mu\text{s}$ 、 $125\ \mu\text{s}$ 、 $100\ \mu\text{s}$ 、 $50\ \mu\text{s}$ 、 $33\ \mu\text{s}$ 、 $25\ \mu\text{s}$ 、 $20\ \mu\text{s}$ 、 $13.3\ \mu\text{s}$ 、 $12.5\ \mu\text{s}$ 、 $10\ \mu\text{s}$ 、 $4\ \mu\text{s}$ 、 $2\ \mu\text{s}$ 、 $1.3\ \mu\text{s}$ 、 $1\ \mu\text{s}$ 、 $0.2\ \mu\text{s}$ 、 $0.1\ \mu\text{s}$ 、 $0.05\ \mu\text{s}$ 、 $0.025\ \mu\text{s}$ 、 $0.02\ \mu\text{s}$ 、 $0.013\ \mu\text{s}$ 、 $0.01\ \mu\text{s}$ 、 $0.008\ \mu\text{s}$ 、 $0.0067\ \mu\text{s}$ 、 $0.0057\ \mu\text{s}$ 、 $0.0044\ \mu\text{s}$ 、 $0.004\ \mu\text{s}$ 等，或介於此等值中之任一者之間。大體而言，母雷射脈衝之一或多個片段週期之持續時間可等於或不同於同一雷射脈衝之一或多個其他片段週期之持續時間。舉例而言，儘管圖3將第一片段週期p1說明為等於第二片段週期p2，但第一片段週期p1之持續時間可大於或小於第二片段週期p2之持續時間。

【0077】 儘管圖3說明了將母雷射脈衝300在時間上劃分成僅兩個脈衝片段（即，第一脈衝片段300a及第二脈衝片段300b），但將瞭解，母雷射脈衝300可在時間上劃分成多於兩個脈衝片段（例如，劃分成3個脈衝片段、5個脈衝片段、8個脈衝片段、10個脈衝片段、25個脈衝片段、30個脈衝片段、50個脈衝片段等，或其類似者或介於此等值中之任一者之間等）。舉例而言，且參考圖4，雷射脈衝300可在時間上劃分成四個脈衝片段400a、400b、400c及400d。在一個具體實例中，第一定位器106之操作經控制以使得至少一對連續劃分之脈衝片段內的脈衝片段偏轉主要角度範圍116內的不同角度。舉例而言，脈衝片段400a可在主要角度範圍116內偏轉（例如，第一角度），且接著脈衝片段400b可在主要角度範圍116內偏轉（例如，第二角度），且接著脈衝片段400c可在主要角度範圍116內偏轉（例

如，第三角度)，且接著脈衝片段400d可在主要角度範圍116內偏轉（例如，第四角度）。在另一具體實例中，第一定位器106之操作經控制而使得至少一對連續劃分的脈衝片段內的脈衝片段偏轉主要角度範圍116內的相同角度。

【0078】 在片段週期之外，第一定位器106可以此項技術中已知之任何方式操作以使入射雷射能量光束衰減，使得沿光束路徑114傳播之雷射能量光束（如最終由第一定位器106偏轉）不具有足以加工工件102之能量。另外或替代地，在片段週期之外，第一定位器106可操作以便使光束路徑114偏轉至光束捕集器、光束捕集系統等或其任何組合。另外或替代地，在片段週期之外，可停止第一定位器106之操作以准許將入射雷射能量光束經由第一定位器106之AOD透射至光束捕集器、光束捕集系統等或其任何組合。

【0079】 儘管上文已關於單一母雷射脈衝（即，雷射脈衝300）論述脈衝分片，但將瞭解，第一定位器106可經操作以實現關於連續傳播母雷射脈衝之序列的脈衝分片。在該序列中，連續母雷射脈衝可以任何所要方式在時間上經劃分，且兩個連續的母雷射脈衝可以相同方式或以不同方式在時間上經劃分。

A. 關於繞射效率之額外論述

【0080】 在片段週期內，第一定位器106可操作以減弱入射雷射能量光束，使得脈衝片段之光學功率隨時間推移而恆定、隨時間推移而改變，或其任何組合。舉例而言，可驅動AOD（例如，第一AOD 202、第二AOD 204，或其組合）以藉由在片段週期期間維持及/或改變施加至AOD之RF驅動信號之振幅（例如，同時保持所施加的RF驅動信號之頻率恆定）來減弱入射雷射能量光束。因此，舉例而言，第一脈衝片段300a之光學功率在第一片段週期p1之持續時間內可恆定或可變。同樣，第二脈衝片段300b之光學功率在第二片段週期p2之持續時間內可恆定或可變。

【0081】 在共同母雷射脈衝在時間上劃分成多個脈衝片段的連續片段週

期上，第一定位器106可操作以減弱（例如，藉由在連續片段週期上維持及/或改變施加至AOD的RF驅動信號之振幅）入射雷射能量光束，使得兩者之平均光學功率及/或峰值光學功率恆定或可變。因此，舉例而言，第一脈衝片段300a在第一片段週期p1期間的平均光學功率或峰值光學功率可大於、等於或小於第二脈衝片段300b在第二片段週期p2期間的平均光學功率或峰值光學功率。在另一實例中，脈衝片段400a之平均光學功率或峰值光學功率可大於、等於或小於脈衝片段400b、400c及400d中之任一者之平均光學功率或峰值光學功率；脈衝片段400b之平均光學功率或峰值光學功率可大於、等於或小於脈衝片段400c及400d中之任一者之平均光學功率或峰值光學功率；且脈衝片段400c之平均光學功率或峰值光學功率可大於、等於或小於脈衝片段400d之平均光學功率或峰值光學功率。

【0082】 儘管以上論述關於操作第一定位器106以設定或改變脈衝片段之光學功率（即，在第一定位器106操作以實現部分脈衝偏轉時），但將瞭解，在第一定位器106操作以實現整個脈衝偏轉時，第一定位器106可類似地操作以設定或改變雷射能量之經偏轉脈衝的光學功率。

VI.關於光束分支之具體實例

【0083】 儘管圖1說明雷射加工設備100包括單一第二定位器108之具體實例，但將瞭解，本文中所揭示之眾多具體實例可應用於包括多個（即，兩個或更多個）第二定位器108之雷射加工設備。舉例而言，且參考圖31，雷射加工設備3100可以與前述雷射加工設備100相同的方式提供，但可包括多個第二定位器（例如，第二定位器108a及108b，各自統稱「第二定位器108」）及多個掃描透鏡（例如，掃描透鏡112a及112b，各自統稱「掃描透鏡112」）。如同雷射加工設備100，掃描透鏡112及對應第二定位器108可視情況整合至共同外殼或「掃描頭」中。因此，掃描透鏡112a及對應第二定位器108（即，第二定位器108a）可整合至共同掃描頭120a中。同樣，掃描透鏡112b及對應第二定位器108（即，第二定

位器108b)可整合至共同掃描頭120b中。如本文中所使用，掃描頭120a及掃描頭120b中之每一者在本文中亦統稱「掃描頭120」。

【0084】 在併入至雷射加工設備3100中時，第一定位器106可操作以繞射、反射、折射或以其他方式偏轉雷射能量光束，以便使光束路徑114偏轉至第二定位器108中之任一者。當使光束路徑114偏轉至第二定位器108a時，光束路徑114可在第一角度範圍（在本文中亦被稱作「第一主要角度範圍116a」）內偏轉任何角度（例如，如相對於入射於第一定位器106上之光束路徑114所量測）。同樣，當使光束路徑114偏轉至第二定位器108b時，光束路徑114可在第二角度範圍（在本文中亦被稱作「第二主要角度範圍116b」）內偏轉任何角度（例如，如相對於入射於第一定位器106上之光束路徑114所量測）。如本文中所使用，第一主要角度範圍116a及第二主要角度範圍116b中之每一者亦可在本文中統稱為「主要角度範圍116」。大體而言，第一主要角度範圍116a不與第二主要角度範圍116b重疊且不相鄰。第一主要角度範圍116a可大於、小於或等於第二主要角度範圍116b。如本文中所使用，使光束路徑114在主要角度範圍116中之一或多者內偏轉的動作在本文中被稱作「光束分支」。

【0085】 在一個具體實例中，可控制第一定位器106之操作以使光束路徑114偏轉至第二定位器108a（例如，在第一分支週期期間）且接著使光束路徑114偏轉至第二定位器108b（例如，在第一分支週期之後的第二分支週期期間），或反之亦然，或其任何組合。在另一實例中，可控制第一定位器106之操作以同時使光束路徑114偏轉至第二定位器108a及第二定位器108b。在本文中所論述之具體實例中，第一分支週期之持續時間可大於、小於或等於第二分支週期之持續時間。第一分支週期及第二分支週期中之每一者的持續時間可大於、等於或小於第一定位器106之定位週期。在一個具體實例中，第一分支週期及第二分支週期中之每一者之持續時間之特徵可為第一定位器106之定位週期的整數倍數（其中整

數可為諸如1、2、3、4、5、10、20、50、100等或介於此等值中之任一者之間的任何整數)。參見下文之此章節以關於第一定位器106之「定位週期」進一步論述。在一些具體實例中，每一分支週期之持續時間大於、等於或小於200 μs 、125 μs 、100 μs 、50 μs 、33 μs 、25 μs 、20 μs 、13.3 μs 、12.5 μs 、10 μs 、4 μs 、2 μs 、1.3 μs 、1 μs 、0.2 μs 、0.1 μs 、0.05 μs 、0.025 μs 、0.02 μs 、0.013 μs 、0.01 μs 、0.008 μs 、0.0067 μs 、0.0057 μs 、0.0044 μs 、0.004 μs 等或介於此等值中之任一者之間。

【0086】 當由雷射源104輸出之雷射能量光束表現為一系列雷射脈衝時，每一分支週期可具有大於或等於雷射能量光束內之雷射脈衝之脈衝持續時間的持續時間。然而，在另一具體實例中，一或多個分支週期可具有小於雷射能量光束內之雷射脈衝之脈衝持續時間的持續時間。在此類具體實例中(或在由雷射源104輸出的雷射能量光束體現為連續或準連續雷射光束的具體實例中)，光束分支之動作可導致脈衝分片，藉此產生一或多個脈衝片段。

VII. 特徵形成

【0087】 大體而言，第一定位器106(無論提供於關於圖1或圖31論述的雷射加工設備中之任一者中，或任何其他雷射加工設備)可操作性地用以快速掃描或以其他方式置放第一掃描範圍(例如，如上文所論述)內的加工光點，以在工件102中形成特徵(例如，開口、通孔、溝槽、槽、切割道、凹入區，等)。在一些具體實例中，工件102可提供為PCB面板、PCB、FPC、IC、ICP、半導體裝置等。因此，工件102可包括一或多個構成結構，諸如：電導體結構(例如，諸如膜、箔片等，其可由銅、銅合金形成；互連或佈線結構，其包含一或多種金屬，諸如銅、鈦、氮化鈦、鉍等或其任何組合)；介電結構(例如，增層膜、玻璃強化環氧樹脂層壓體、層間介電材料、低k介電材料、阻焊劑、聚合材料等，或其任何組合)等，或其任何組合。工件102之任何電導體結構或介電結構可具有在5 μm (或5 μm 上下)至500 μm (或500 μm 上下)的範圍內之厚度。因此，電導

體結構或介電結構之厚度可大於、小於或等於 $0.5\ \mu\text{m}$ 、 $0.1\ \mu\text{m}$ 、 $1\ \mu\text{m}$ 、 $3\ \mu\text{m}$ 、 $5\ \mu\text{m}$ 、 $10\ \mu\text{m}$ 、 $15\ \mu\text{m}$ 、 $18\ \mu\text{m}$ 、 $20\ \mu\text{m}$ 、 $25\ \mu\text{m}$ 、 $30\ \mu\text{m}$ 、 $35\ \mu\text{m}$ 、 $40\ \mu\text{m}$ 、 $50\ \mu\text{m}$ 、 $70\ \mu\text{m}$ 、 $80\ \mu\text{m}$ 、 $100\ \mu\text{m}$ 、 $110\ \mu\text{m}$ 、 $120\ \mu\text{m}$ 、 $250\ \mu\text{m}$ 、 $300\ \mu\text{m}$ 、 $350\ \mu\text{m}$ 、 $400\ \mu\text{m}$ 、 $450\ \mu\text{m}$ 、 $550\ \mu\text{m}$ 、 $600\ \mu\text{m}$ 等，或介於此等值中之任一者之間。

【0088】 在一個具體實例中，且參考圖5，工件102包括介電結構500，其在其第一側處接觸或以其他方式黏附至第一電導體結構502。介電結構500可提供為諸如FR4、聚醯亞胺、液晶聚合物、ABF等材料，且具有在 $15\ \mu\text{m}$ （或 $15\ \mu\text{m}$ 上下）至 $120\ \mu\text{m}$ （或 $120\ \mu\text{m}$ 上下）的範圍內之厚度（ t_1 ）。第一電導體結構502可提供為銅或銅合金箔片，其可具有例如藉由化學反應、藉由雷射暗化製程等處理的曝露表面，以增大雷射能量之吸收，或不變暗。第二電導體結構504（例如，由銅或銅合金等形成的墊、跡線、箔片等）可接觸或以其他方式黏附至介電結構500之與第一側對置的第二側。第一電導體結構502可具有等於（或約等於） $5\ \mu\text{m}$ 、 $7\ \mu\text{m}$ 、 $9\ \mu\text{m}$ 、 $12\ \mu\text{m}$ 、 $18\ \mu\text{m}$ 、 $35\ \mu\text{m}$ 、 $70\ \mu\text{m}$ 、 $105\ \mu\text{m}$ 等或介於此等值中之任一者之間的厚度（ t_2 ）。若存在，第二電導體結構可具有小於、大於或等於第一電導體結構502之厚度（ t_1 ）的厚度（ t_3 ）。視情況，工件102可包括一或多個額外結構，諸如部分地在圖5中展示的額外介電結構508，其接觸或以其他方式黏附至第二電導體結構504（例如，使得第二電導體結構504插置於介電結構500與介電結構508之間）。

【0089】 大體而言，特徵（例如，開口、通孔、溝槽、槽、切割道、凹入區等）可表徵為藉由藉助於燒蝕自工件102之一或多個構成結構移除材料而形成。除非另外明確陳述，否則術語「燒蝕」可指「直接燒蝕」、「間接燒蝕」或其任何組合。在燒蝕之主要原因為材料歸因於藉由材料遞送之雷射能量之光束內的能量之吸收（例如，線性吸收、非線性吸收，或其任何組合）之分解時，發生工件102中材料之直接燒蝕。在燒蝕之主要原因為熔融及汽化（歸因於在吸收雷

射能量光束內的能量之鄰近材料（例如，介電結構500）中產生及自其輸送的熱，其最終遞送至工件102）時，發生工件102中的目標材料（例如，第一電導體）之間接燒蝕（亦稱為「剝離」）。在目標材料與鄰近材料之間的汽化材料袋（例如，在鄰近材料汽化時形成）內之壓力足以自工件102逐出目標材料時，發生目標材料（例如，第一電導體502）之移除。關於藉由間接燒蝕移除材料之考慮因素為此項技術中已知的，且更詳細地論述於國際公開案第WO 2017/044646 A1號中。

A. 使用掃描圖案之特徵形成

【0090】 為在工件102（例如，如上所述而組態）中形成諸如通孔（例如，如圖6中例示性所示的盲通孔600，或如圖7中例示性所示的穿孔700）之特徵，第一定位器106可提供為多軸AOD系統（例如，AOD系統200）且操作以沿著界定掃描圖案的加工軌跡掃描加工光點（即，工件102上由引導至工件102上的雷射能量光束照射的光點，在圖5中由箭頭506指示）。在遞送至工件102的雷射能量光束體現為多個脈衝時，掃描圖案可表徵為分佈於工件102之將形成特徵（例如，通孔）的區域內之光點位置圖案。在特徵形成期間，第一定位器106可操作以便實現整個脈衝偏轉或部分脈衝偏轉（例如，如上文所論述），或整個脈衝偏轉與部分脈衝偏轉之組合。

【0091】 大體而言，掃描圖案之最大尺寸（如在X-Y平面中量測）小於或等於第一掃描場之最大尺寸（如在X-Y平面中量測）。此外沿著用以形成通孔的掃描圖案掃描的加工光點之光點大小將小於通孔本身之最大尺寸（如形成於第一電導體結構502中，且在X-Y平面中量測）。因此，通孔之最大尺寸可等於（或約等於）20 μm 、25 μm 、30 μm 、35 μm 、40 μm 、45 μm 、50 μm 、55 μm 、60 μm 、65 μm 、70 μm 、80 μm 、85 μm 、90 μm 、95 μm 、100 μm 、105 μm 、110 μm 等，或介於此等值中之任一者之間。如形成於介電結構中的通孔之最大尺寸（例如，在通孔之底部處，或在介電結構與第二電導體結構之間的界面處或附近，如在X-

Y平面中量測)可大於、小於或等於如形成於第一電導體結構502中的通孔之最大尺寸。

【0092】 掃描圖案之特性可包括掃描圖案中光點位置之數目、掃描圖案中光點位置之配置、定址掃描圖案中的光點位置之順序或次序、連續定址的光點位置之間的距離，等。大體而言，在單一雷射脈衝或單一系列連續遞送雷射脈衝在光點位置處遞送至工件102時，定址光點位置。根據本文所述之具體實例，此等掃描圖案特性中之一或多者可考慮到遞送至工件102之雷射能量光束之一或多個或全部前述特性(例如，波長、平均功率、脈衝持續時間、脈衝重複率、脈衝能量、峰值功率、時間光學功率輪廓、光點大小，等)加以選擇或以其他方式設定，以使得雷射能量可均勻地分佈(或至少在某種程度上均勻地)在工件102之將形成通孔的區域上，隨後最終燒蝕第一電導體結構502(即，歸因於間接燒蝕，或直接燒蝕與間接燒蝕之組合)。藉此，在已定址掃描圖案中的全部光點位置之前，第一電導體結構502之將形成通孔之區可均勻地(或至少在某種程度上均勻地)加熱至處於或接近第一電導體結構502之加工臨限溫度之溫度。因此，根據本文所述之具體實例，在工件102中形成通孔之過程可表徵為包括以下過程：在第一電導體結構502中形成開口，藉此藉由首先定址掃描圖案中的多個光點位置而在第一電導體結構502中形成開口，以均勻地(或至少在某種程度上均勻地)加熱第一電導體結構502之將形成開口之區(即，加熱至處於或接近第一電導體結構502之加工臨限溫度之溫度);以及，此後，定址掃描圖案中的一或多個其他光點位置汽化介電結構500之在第一電導體結構502之受熱區下方的一部分，以自工件102逐出第一電導體結構502之受熱區(即，藉由間接燒蝕)。

【0093】 鑒於以上內容，將認識到，前述掃描圖案特性以及雷射能量光束之特性(例如，平均功率、脈衝持續時間、脈衝重複率、脈衝能量、峰值功率、光點大小等或其任何組合)中之一或多者可經選擇或以其他方式設定，使得第一

電導體結構502之位於工件102的要形成通孔所處的區域（包括第一電導體結構502之位於工件102的將形成通孔的區域之中心處的區，在本文中亦稱為「第一電導體502之中心區」）內之全部（至少實質上全部）部分在燒蝕第一電導體結構502（例如，歸因於間接燒蝕）之前被熔融。然而，掃描圖案、雷射能量光束或其組合之此等特性中之一或多者可經修改，使得第一電導體502之中心區不熔融，但使得在燒蝕第一電導體結構502之前，第一電導體502之圍繞中心區之一部分被熔融。在此情況下，仍可藉由間接燒蝕移除第一電導體502之未熔融中心區（例如，在汽化在第一電導體502之未熔融中心區下方的介電結構時）。

【0094】 掃描圖案特性中之一或多者亦可考慮到定址掃描圖案中的連續定址光點位置之速率而加以選擇或以其他方式設定。定址掃描圖案中的不同光點位置之速率可等於（或至少實質上等於）第一定位器106在形成通孔期間的更新速率、第一定位器106在形成通孔期間的更新速率之整數倍，或其組合。因此，定址掃描圖案中的不同光點位置之速率可對應於第一定位器106在形成通孔期間的更新速率。因此，沿著掃描圖案掃描加工光點所需之總時間量（在本文中亦稱為「曝光時間」）可對應於掃描圖案中的光點位置之數目乘以第一定位器106之第一定位週期之乘積（即，在第一定位器106操作以沿著掃描圖案掃描加工光點時）。

【0095】 如上所指出，在形成通孔之過程期間，雷射能量均勻地分佈（或至少在某種程度上均勻地）在工件102之待形成通孔的區域上，隨後燒蝕第一電導體結構502（例如，歸因於直接燒蝕、間接燒蝕，或其組合）。因此，在燒蝕第一電導體結構502之前，將定址掃描圖案之至少兩個光點位置（例如，兩個、三個、四個、五個、六個、七個、八個、九個、十個，等）。舉例而言，本發明人進行的模擬指示，在體現為一系列雷射脈衝（即，波長諸如為9.4 μm 或10.6 μm ，光點大小為70 μm ，脈衝持續時間為1 μs ，峰值功率高達約1.3 kW）之雷射能量光

束引導至提供為具有由50 μm 厚FR4形成的介電結構、由12 μm 厚銅箔片形成的第一電導體結構502（經處理以增大雷射能量之吸收）及由35 μm 厚銅箔片形成的第二電導體結構之PCB的工件102上（即，使得雷射能量光束入射於第一電導體結構502上）時，第一電導體結構502之燒蝕於最初掃描加工光點之後的6 μs 至8 μs （或6 μs 至8 μs 上下）之週期內開始。因此，根據此模擬，在燒蝕第一電導體結構502之前，可藉由雷射能量光束定址約六個至八個光點位置。

i. 掃描圖案之實例性具體實例

【0096】 下文為圖8至圖22及圖24(a)中說明的掃描圖案之論述，其藉由本發明人開發以使用如遞送至工件102之雷射能量光束在工件102（例如，如上文所描述而提供）中形成圓形（或至少大致圓形）盲通孔，該雷射能量光束之波長在9 μm （或9 μm 上下）至11 μm （或11 μm 上下）之範圍內（例如，波長為9.4 μm （或為9.4 μm 上下）、10.6 μm （或10.6 μm 上下），等）、峰值功率在250 W（或250 W上下）至2 kW（或2 kW上下）之範圍內且光點大小在60 μm （或60 μm 上下）至90 μm （或90 μm 上下）之範圍內。然而，應瞭解，光點大小可小於60 μm ，例如在30 μm （或30 μm 上下）至60 μm （或60 μm 上下）之範圍內。因此，如下文所論述沿著例示性掃描圖案掃描的加工光點之光點大小可例如為40 μm （或40 μm 上下）、50 μm （或50 μm 上下）、70 μm （或70 μm 上下）或85 μm （或85 μm 上下）等，或介於此等值中之任一者之間。大體而言，如遞送至工件102之雷射能量光束中的脈衝具有1 μs （或1 μs 上下）之脈衝持續時間。儘管如此，將瞭解，下文描述的掃描圖案可用以形成不同於盲通孔之特徵（例如，通孔、溝槽、槽或其他凹部或開口），且掃描圖案可經修改以形成不同於通孔之特徵。

【0097】 亦應瞭解，如遞送至工件102之雷射能量光束之波長可低於9 μm （例如，在電磁光譜之紫外線或綠色可見範圍內），其限制條件為遞送至工件102之雷射能量光束的其他特性（例如，脈衝持續時間、脈衝重複率、峰值功率、時

間光學功率輪廓、通量，等)足以加工工件102。舉例而言，雷射源104可提供為雷射，諸如由IPG PHOTONICS製造的ULR/ULM-355-200系列雷射。此等雷射為能夠在355 nm之波長及200 W之平均功率下產生雷射能量光束的高功率QCW光纖雷射，其中光束由脈衝持續時間為約1.4 ns、以80 MHz之脈衝重複率輸出的雷射脈衝構成。在另一實例中，雷射源104可提供為諸如由IPG PHOTONICS製造的GPLN-532系列雷射(例如，GPLN-532-200、GPLN-532-500，等)之雷射，其可以脈衝或QCW模式操作且能夠在532 nm之波長及200 W或更大之平均功率下產生雷射能量光束，其中光束由脈衝持續時間為約1.2 ns、以約50 MHz或更大之脈衝重複率輸出的雷射脈衝構成。

【0098】 最後，將瞭解，不管如遞送至工件102之雷射能量光束之波長如何，基於一或多個因素(諸如所加工的工件102之材料構造、可接受品質及處理量標準，等)，遞送至工件102之雷射能量光束皆可具有任何合適的或所要的特性(例如，在光點大小、脈衝持續時間、峰值功率、脈衝能量、平均功率、脈衝重複率等方面)。

【0099】 在圖8至圖22及圖24(a)中，任何掃描圖案之光點位置以圓形配置分佈(例如，在假想圓之共同圓周上或沿著其配置)。在此等圖中，每一光點位置之中心藉由點或圓指定。為了進行參考而提供所說明的水平及豎直定向軸線，其中每一軸線處的數字指示距離或位置(以 μm 量測)。因此，圖8至圖22及圖24(a)中說明的掃描圖案可表徵為具有在10 μm (或10 μm 上下)至60 μm (或60 μm 上下)之範圍內的半徑。

【0100】 在一個具體實例中，用以形成通孔之掃描圖案可為「最遠相鄰者」型掃描圖案。在最遠相鄰者型掃描圖案中，待定址之第二或後續光點位置距任何其他先前定址的光點位置儘可能遠。在圖8及圖9中說明最遠相鄰者型掃描圖案之一些實例。

【0101】 參考圖8，最遠相鄰者型掃描圖案由八個光點位置（其中每一光點位置之中心由諸如點800之點表示）組成，其中之每一者僅定址一次。如例示性所說明，八個光點位置以圓形配置提供（例如，在假想圓之共同圓周上或沿著其配置）。連接光點位置與光點位置附近的數字「1」、「2」、...「8」之線指示定址（例如，藉由雷射能量光束，至少藉由第一定位器106偏轉）掃描圖案800中的光點位置之順序。因此，光點位置1為待定址的掃描圖案800中之第一光點位置，光點位置2為待定址的掃描圖案800中之第二光點位置，依此類推，且光點位置8為待定址的掃描圖案800中之最末光點位置。

【0102】 參考圖9，最遠相鄰者型掃描圖案由以圓形配置（例如，在假想圓之共同圓周上或沿著其配置）提供的十六個光點位置組成。在圖9中所示的掃描圖案中，每一光點位置與另一光點位置重疊。因此，點附近的識別符「1, 12」、「2, 11」、「3, 9」...「5, 16」指定光點位置，且連接光點位置之線指示定址（例如，藉由雷射能量光束，至少藉由第一定位器106偏轉）掃描圖案中的光點位置之順序。因此，在圖9中所示的掃描圖案中，藉由「1, 12」指定的點表示待定址掃描圖案800中的第一光點位置之位置且待定址掃描圖案800中的第十二光點位置之位置；藉由「2, 11」指定的點表示待定址掃描圖案中的第二光點位置之位置且待定址掃描圖案中的第十一光點位置之位置；依此類推。

【0103】 將瞭解，最遠相鄰者型掃描圖案可經修改（例如，使得待定址的第二或後續光點位置並不位於距任何其他先前定址的光點位置儘可能遠處），且仍適合用於形成通孔。經修改之最遠相鄰者型掃描圖案之一些實例說明於圖10至圖22中。圖10至圖22中所示的掃描圖案（以及圖8及圖9中所示的彼等）可通常表徵為兩個類型中的一者：第一類型之掃描圖案（在本文中亦稱為「第一類型掃描圖案」），其中特定連續定址光點位置對之間的中點共置（例如，處於假想圓之中心）；以及第二類型之掃描圖案（在本文中亦稱為「第二類型掃描圖案」），其

中無連續定址光點位置對之間的中點共置。圖8至圖16、圖20至圖22及圖24(a)說明第一類型掃描圖案之實例；圖17至圖19說明第二類型掃描圖案之實例。

【0104】 第二類型掃描圖案可表徵為連續定址鄰近光點位置之掃描圖案（例如，如圖17及圖19中所示）或並不連續定址鄰近光點位置之掃描圖案（例如，如圖18中所示）。諸如圖17及圖19中所示的彼等掃描圖案之掃描圖案稱為「連續定址第二類型掃描圖案」，且諸如圖18中所示的彼等掃描圖案之掃描圖案稱為「非連續定址第二類型掃描圖案」。

【0105】 在圖17及圖19中，光點位置1及2為彼此鄰近且連續定址的光點位置之實例。在圖18中，光點位置1及7為彼此鄰近但並不連續定址的光點位置之實例。實際上，在圖18中，光點位置1及2並不彼此鄰近，但連續定址。在圖18中所示的實例掃描圖案中，光點位置7存在（例如，沿著假想圓之圓周）於連續定址的光點位置1與2之間。亦如圖18中所示，光點位置12及1存在（例如，沿著假想圓之圓周）於連續定址的光點位置6與7之間。將瞭解，圖17至圖19中所示的掃描圖案可經修改，使得任何數目個光點位置可存在（例如，沿著假想圓之圓周）於相同掃描圖案中的任何兩個連續定址光點位置之間。

【0106】 儘管圖8至圖22及圖24(a)中說明的實例掃描圖案展示為具有在假想圓之共同圓周上或沿著其配置的一組數個光點位置（例如，4、8、12、16、18或20個光點位置），但將瞭解，任何掃描圖案（不管說明與否）可具有在假想圓之共同圓周上或沿著其配置的不同數目個光點位置（例如，2、3、5、6、10、15、22、25、28、30、32、40、50、60、70、75、80、100等，或介於此等值中之任一者之間），且可以任何合適的或所要順序或次序定址光點位置。舉例而言，儘管圖8、圖10至圖13及圖15至圖20中說明的實例掃描圖案展示為具有按順序僅定址一次的多個光點位置，但將瞭解，此等掃描圖案中之任一者之光點位置可按順序定址多次（例如，2次、3次、4次、5次等）。亦應瞭解，共同掃描圖案內的

光點位置可在任何其他線、周界、區段等上或沿著其配置，從而描繪任何所要或合適形狀（例如，三角形、正方形、矩形、六邊形、卵形、星形等，或其任何組合）。

【0107】 在沿著第二類型掃描圖案掃描加工光點而使得連續定址不鄰近的光點位置時，任何數目個光點位置可能存在（例如，沿著假想圓之圓周）於一對連續定址光點位置之間。可存在於連續定址光點位置對之間的此類光點位置之數目可在3個光點位置至10個光點位置之範圍內（例如，在4個光點位置至6個光點位置之範圍內）。

ii. 關於特徵形狀扭曲之額外論述

【0108】 已發現，藉由操作第一定位器106（例如，多軸AOD系統，諸如AOD系統200）以沿著如上文所論述的第二類型掃描圖案掃描加工光點而產生的通孔可具有橢圓形開口（即，在工件102之表面處），例如如圖27中所示，即使第二類型掃描圖案中的光點位置在假想圓之共同圓周或沿著其配置亦如此，例如如圖28中所示。為補償通孔開口形狀之此扭曲，第二類型掃描圖案中的光點位置之配置可加以修改（例如，使得光點位置在假想橢圓之共同周界上或沿著其配置，如圖29中所示）。圖29中所示的經修改之第二類型掃描圖案可通常表徵為橢圓形形狀，其中橢圓形形狀之長軸與圖27中所示的通孔開口之形狀之長軸正交。任何第二類型掃描圖案（包括前述第二類型掃描圖案）可經修改，使得光點位置在共同橢圓之周界上或沿著其配置，而非在共同圓之圓周上或沿著其配置。在沿著此類經修改之掃描圖案掃描加工光點時，最終產生的通孔之開口將具有比圖27中所說明的橢圓形形狀更圓的形狀。

iii. 關於掃描圖案、通孔圓度及脈衝分片之額外論述

【0109】 應注意，在圖8至圖22及圖24(a)中，水平及豎直定向之軸線不必表示多軸AOD系統（例如，AOD系統200，其操作以沿著掃描圖案掃描加工光點

以形成通孔)中的AOD之繞射軸之定向。大體而言,可沿著諸如本文中描述的掃描圖案之任何掃描圖案掃描加工光點,同時AOD系統200操作以實現整個脈衝偏轉、部分脈衝偏轉(如上文所論述,即,脈衝分片),或其組合。在多軸AOD系統(例如,AOD系統200)操作以便實現部分脈衝偏轉時,已發現,最終形成的通孔開口之圓度可取決於一或多個因素,諸如掃描圖案之定向(即,掃描圖案中的連續定址光點位置之間的「跳變」相對於多軸AOD系統中的AOD之定向繞射軸之定向)、掃描圖案中的連續定址光點位置之間的距離,及在掃描加工光點時多軸AOD系統之更新速率。儘管不希望受任何特定理論束縛,但本發明人認為在施加至AOD之RF驅動頻率在雷射脈衝在脈衝分片期間通過AOD之AO單元的同時改變時,存在AO單元中的聲波瞬變,從而以非所要方式繞射入射雷射能量光束。由聲波瞬變造成的繞射事件有時可能導致工件102處的加工光點之不可接受的扭曲。已觀察到,在施加至任何特定AOD之RF驅動頻率的差在該AOD之兩個連續第一定位週期之間大時,加工光點扭曲最為嚴重。亦已觀察到,若多軸AOD系統中的多個AOD操作以連續定址掃描圖案中的不同光點位置,則可在某種程度上減小加工光點扭曲。

【0110】 舉例而言,在圖14中所示的掃描圖案中,光點位置1與2之間(及光點位置7與8之間,及光點位置9與10之間)的「跳變」之方向與多軸AOD系統中的AOD之一個繞射軸(例如,AOD系統200之第一AOD 202之第一繞射軸)平行,且光點位置3與4之間(及光點位置5與6之間,及光點位置11與12之間)的「跳變」之方向與多軸AOD系統中的AOD之另一繞射軸(例如,AOD系統200之第二AOD 204之第二繞射軸)平行。因此,沿著對角說明的方向(其中之每一者平行於諸如AOD系統200的多軸AOD系統中的AOD之繞射軸)對準的連續定址光點之間的距離大於沿著圖中說明的水平或豎直方向對準的連續定址光點之間的距離。因此,在沿著圖14中所示的掃描圖案掃描加工光點時,工件102處加工光點

之形狀可能扭曲，以產生具有相對不良圓度的通孔開口（例如，如圖23中所示）。然而，若圖14中所示的掃描圖案之定向相對於多軸AOD系統中的AOD之繞射軸旋轉（例如，45度，如圖24(a)中所示），以使得相對較大「跳變」（即，光點位置1與2之間、光點位置3與4之間、光點位置5與6之間、光點位置7與8之間以及光點位置9與10之間及光點位置11與12之間的跳變）之方向並不與任何AOD之繞射軸平行，則可改良最終產生的通孔開口之圓度，如圖24(b)中所示。僅單一AOD操作以掃描光點位置1與2之間（及光點位置7與8之間以及光點位置9與10之間）或光點位置3與4之間（以及光點位置5與6之間及光點位置11與12之間）的加工光點，如圖14中所示。然而，需要操作多個AOD以掃描光點位置1與2之間、光點位置3與4之間、光點位置5與6之間、光點位置7與8之間以及光點位置9與10之間及光點位置11與12之間的加工光點，如圖24(a)中所示。同樣，圖16中所示的掃描圖案中的連續定址光點位置之間的「跳變」之方向中無一者與多軸AOD系統內的任何AOD之繞射軸平行。結果，在沿著圖16中所示的掃描圖案掃描加工光點時，最終產生的通孔具有具相對良好圓度的開口（例如，如圖25中所示）。

【0111】 應注意，在AOD內，每一所施加RF驅動頻率對應於施加至入射雷射能量光束的有效相位傾角。詳言之，相位傾角（以 μrad 計）可計算如下：

$$\text{相位傾角} = \lambda * \Delta f / v$$

其中 λ 為穿過AOD的雷射能量光束之光學波長（以nm量測）， Δf 為施加至AOD的所施加RF驅動頻率與AOD之中心頻率的偏差（以Hz量測），且 v 為聲波在AO單元中之速度（以m/s量測）。若在AOD系統操作以實現脈衝分片時，入射雷射能量光束受具有顯著不同量值的多個相位傾角（亦稱為多個相位傾角區段）影響，則扭曲可能嚴重，其取決於例如操作AOD系統200的更新速率。然而，若執行脈衝分片，使得多個傾角區段在量值上相差雷射能量光束之波長之小分率，則原本將觀察到的扭曲效應可減小。此亦可幫助引導待使用的掃描圖案之選擇及

定向以及多軸AOD系統（例如，AOD系統200）之更新速率（在多軸AOD系統操作以便在鑽出通孔時實現部分脈衝偏轉時）。

【0112】 舉例而言，圖8中所示的掃描圖案中的光點位置1與2之間的「跳變」之方向與AOD之一個繞射軸（例如，AOD系統200之第一AOD 202之第一繞射軸）平行，且光點位置3與4之間的「跳變」之方向與AOD之另一繞射軸（例如，AOD系統200之第二AOD 204之第二繞射軸）平行。因此，由單一AOD實現的最長跳變等於約傾角之 $300\ \mu\text{rad}$ ，其等效於在穿過AOD的雷射能量光束之直徑上的約 $4.5\ \mu\text{m}$ 之相位傾角（其可為約 $15\ \text{mm}$ ，或為其 $9.4\ \mu\text{m}$ 波長之大致50%）。因此，自光點位置1至光點位置2及自光點位置3至光點位置4之跳變為相對較大的跳變。

【0113】 在另一實例中，在AOD系統200操作以實現部分脈衝偏轉以沿著圖8中所示的掃描圖案以 $1\ \text{MHz}$ 之更新速率（對應於 $1\ \mu\text{s}$ 之第一定位週期）掃描加工光點時，可形成具有可接受圓形開口的通孔。然而，在更新速率倍增至 $2\ \text{MHz}$ （對應於 $0.5\ \mu\text{s}$ 之第一定位週期）時，加工光點在其沿著圖8中所示的掃描圖案被掃描時變得扭曲，從而導致所形成的通孔具有的開口具有更類似於正方形之形狀。相比之下，諸如圖17至圖19中說明的掃描圖案中的連續定址光點位置之間的跳變之距離可比諸如圖8中所說明的掃描圖案中的連續定址光點位置之間的跳變之距離小得多。舉例而言，圖19中所示的掃描圖案中的連續定址光點位置之間的跳變可低於 $10\ \mu\text{m}$ （比圖8中所示的掃描圖案小約3倍），且結果，在以 $2\ \text{MHz}$ 之更新速率驅動且另外，甚至在以 $8\ \text{MHz}$ 之更新速率（對應於 $0.125\ \mu\text{s}$ 之第一定位週期）驅動多軸AOD系統中的AOD時，工件102處的加工光點之扭曲可非常低。

【0114】 鑒於以上內容，可藉由以下操作來形成（例如，在前述工件102中）通孔：以大於 $1\ \text{MHz}$ 之更新速率（例如，以大於或等於 $2\ \text{MHz}$ 、 $5\ \text{MHz}$ 、 $8\ \text{MHz}$ 、 $12\ \text{MHz}$ 、 $25\ \text{MHz}$ 、 $50\ \text{MHz}$ 等，或介於此等值中之任一者之間的更新速率）

操作第一定位器106（例如，多軸AOD系統，諸如AOD系統200）以沿著具有相對較大數目（例如，至少40個）光點位置（例如，45、50、60、75、80、90、100、124個光點位置等，或介於此等值中之任一者之間）的第二類型掃描圖案（例如，以如本文所描述的任何方式提供）掃描加工光點（例如，具有在上文所描述的範圍內的光點大小），使得連續定址光點位置在空間上彼此分離高達六個光點位置及/或使得連續定址光點位置之跳變之間的距離小於15 μm （例如，13 μm 、11 μm 、10 μm 、9 μm 、8 μm 、7 μm 等，或介於此等值中之任一者之間）。

iv. 關於局域化熱積聚之額外論述

【0115】 取決於諸如遞送至工件102的雷射脈衝之波長、脈衝持續時間、脈衝重複率、峰值功率、平均功率等、光點位置處的材料之線性吸收（例如，相對於遞送至該位置的雷射脈衝之波長）、光點位置處或附近的材料之導熱率、熱擴散率、比熱容等、待掃描加工光點所沿的掃描圖案等或其任何組合之一或多個因素，由於將雷射脈衝遞送至一或多個光點位置而產生的熱可自所輻照光點位置擴散，且積聚在工件102之在加工光點外部的區內，藉此增大在加工光點外部的區處之工件102之溫度。

【0116】 若積聚的熱導致工件102之位於待由加工光點輻照的光點位置處或附近的區處的升高之溫度，且若升高之溫度高於臨限溫度（即，「加工臨限溫度」），則可隨後加工（例如，藉由直接燒蝕、間接燒蝕，或其任何組合）工件102之效率可受到正面影響。大體而言，與待處理的材料相關聯之加工臨限溫度高於或等於待處理的材料之熔點或玻璃轉變溫度，但小於其汽化溫度。然而，在另一具體實例中，加工臨限溫度可小於待處理的材料之熔點或玻璃轉變溫度（例如，為待處理的材料之熔點或玻璃轉變溫度之98%、95%、93%、90%、89%、87%、85%、80%、75%、70%、65%、50%、40%等，或介於此等值中之任一者之間）。

【0117】 在一些情況下，積聚的熱可增大工件102之並不意欲加工的區（各

自在本文中亦稱為工件102之「非特徵區」)內的溫度。若溫度足夠高，則工件102之非特徵區可能被不合期望地損壞(例如，不合期望地裂開、熔融、剝離、退火等)。因此，可能傾向於以如下方式加工工件102：避免熱在工件102之非特徵區內的不合需要的積聚。如本文中所使用，工件102之區將被不合期望地損壞之溫度稱為「損壞臨限溫度」。應認識到，工件102之任何非特徵區之損壞臨限溫度可取決於一或多個因素，諸如光點位置處或附近或非特徵區中的任何材料之厚度、導熱率、熱擴散率、比熱容等、光學吸收率(相對於所遞送雷射能量之光束)等，以及位於非特徵區附近的結構之導熱率、熱擴散率、比熱容、大小及形狀等，或其任何組合。

a. 避免不合需要的損壞

【0118】 已發現，在藉由掃描雷射能量光束(例如，沿著上文相對於圖8至圖29例示性描述的掃描圖案，或以其他方式)而在工件102中形成盲通孔600(例如，如上文關於圖5及圖6所描述)時，工件102可能分層。工件102可能分層的實例區包括在第二電導體結構504與在曝露的第二電導體結構504之周邊區域(例如，在藉由圓「A」識別的區內)處或附近的介電結構500及介電結構508中之一或兩者之間的界面處之區、在第二電導體結構504與在曝露的第二電導體結構504之中心區域(例如，在藉由圓「B」識別的區內)處或附近的介電結構508之間的界面處之區等，或其任何組合。由本申請人執行的實驗表明，在遞送至工件102的雷射脈衝具有相對較高峰值功率時，分層發生。在形成盲通孔600之過程臨近結束時，所遞送的雷射脈衝將第二電導體結構504加熱至顯著程度，且熱接著自第二電導體結構504傳遞至鄰近於受熱的第二電導體結構504之介電結構500及/或介電結構508之非特徵區(例如，在諸如藉由圓「A」及/或「B」識別的區之區)中。積聚的熱可將介電結構500之鄰近區之溫度升高至高於其玻璃轉變溫度(且在一些情況下，高於其分解溫度)，從而引起工件102內之分層或使工件

102更易分層。

【0119】 為防止在形成盲通孔600之過程期間分層，本申請人已發現，在該過程臨近結束時引導至工件102之雷射脈衝之峰值功率可低於先前引導至工件102之雷射脈衝之峰值功率。已發現，減小所遞送雷射脈衝之峰值功率與在空間上分佈所遞送雷射脈衝（例如，沿著上文相對於圖8至圖29例示性描述的掃描圖案）之組合防止第二電導體結構504顯著變熱，因此防止介電結構500之鄰近區不合期望地累積可能造成分層之熱。

【0120】 舉例而言，且參考圖30，待遞送至工件102以形成盲通孔600之多個雷射脈衝可提供為藉由第一定位器106自共同母雷射脈衝3000在時間上劃分出的脈衝片段，且可沿著任何合適的或所要掃描圖案（例如，如上文相對於圖8至圖29例示性描述，或以其他方式）掃描該等脈衝片段。母雷射脈衝3000之波長可在 $9\ \mu\text{m}$ （或 $9\ \mu\text{m}$ 上下）至 $11\ \mu\text{m}$ （或 $11\ \mu\text{m}$ 上下）之範圍內（例如，波長為 $9.4\ \mu\text{m}$ （或 $9.4\ \mu\text{m}$ 上下）、 $10.6\ \mu\text{m}$ （或 $10.6\ \mu\text{m}$ 上下），等），且峰值功率或平均功率在 $250\ \text{W}$ （或 $250\ \text{W}$ 上下）至 $2\ \text{kW}$ （或 $2\ \text{kW}$ 上下）之範圍內。

【0121】 在此情況下，脈衝片段可包括第一脈衝片段3002及第二脈衝片段3004，其中多個第一脈衝片段3002在第一時間週期（例如，其可為自第一片段週期 p_1 之開始至第 m 片段週期 p_m 之結束的總時間段）期間遞送至工件102，且此後，多個第二脈衝片段3004在第二時間週期（例如，其可為自第 $m+1$ 個片段週期 p_{m+1} 之開始至第 n 片段週期 p_n 之結束的總時間段）期間遞送至工件102。儘管圖30僅說明兩個第一脈衝片段3002（即，對應於片段週期 p_1 及 p_m ），但將瞭解，任何數目個第一脈衝片段3002可在第一片段週期 p_1 與第 m 片段週期 p_m 之間自母雷射脈衝3000在時間上劃分出。同樣，儘管圖30僅說明兩個第二脈衝片段3004（即，對應於片段週期 p_{m+1} 及 p_n ），但將瞭解，任何數目個第二脈衝片段3004可在第 $m+1$ 片段週期與第 n 片段週期 p_n 之間自母雷射脈衝3000在時間上劃分出。在第一時間週

期期間自母雷射脈衝3000在時間上劃分出脈衝片段的連續片段週期可連續地、間歇性地或以其任何組合發生，如上文所論述。同樣，在第二時間週期期間自母雷射脈衝3000在時間上劃分出脈衝片段的連續片段週期可連續地、間歇性地或以其任何組合發生，如上文所論述。另外，儘管第 m 片段週期 p_m 及第 $m+1$ 片段週期 p_{m+1} 在圖30中說明為間歇性地出現（即，具有介入於第 m 片段週期 p_m 之後與第 $m+1$ 片段週期 p_{m+1} 之前的延遲），但將瞭解，第 m 片段週期 p_m 及第 $m+1$ 片段週期 p_{m+1} 可連續地發生（即，第 $m+1$ 片段週期 p_{m+1} 緊接地在第 m 片段週期 p_m 之後開始）

【0122】 第一脈衝片段3002可表徵為具有實質上恆定的第一光學功率 P_1 ，且第二脈衝片段3004可表徵為具有實質上恆定的第二光學功率 P_2 ，其小於第一光學功率 P_1 。大體而言，脈衝片段之光學功率可藉由在每一片段週期期間維持或改變施加至AOD的RF驅動信號之振幅（如上所述）來加以設定（例如，設定至第一光學功率 P_1 或第二光學功率 P_2 ）。在一個具體實例中，第一光學功率 P_1 可在150 W（或150 W上下）至300 W（或300 W上下）之範圍內（例如，為200 W或為200 W上下）。第二光學功率 P_2 可在第一光學功率 P_1 之75%至25%之範圍內（例如，50%或50%上下）。

【0123】 在形成盲通孔600期間最終遞送至工件的雷射脈衝可具有在60 μm （或60 μm 上下）至90 μm （或90 μm 上下）之範圍內的光點大小。然而，應瞭解，光點大小可小於60 μm ，例如在30 μm （或30 μm 上下）至60 μm （或60 μm 上下）之範圍內。因此，如下文所論述沿著例示性掃描圖案掃描的加工光點可具有例如40 μm （或40 μm 上下）、50 μm （或50 μm 上下）或85 μm （或85 μm 上下）之光點大小。

【0124】 在一個具體實例中，前述第一時間週期小於前述第二時間週期。舉例而言，第一時間週期可在4 μs （或4 μs 上下）至8 μs （或8 μs 上下）之範圍內，

且第二時間週期可在 $8\ \mu\text{s}$ （或 $8\ \mu\text{s}$ 上下）至 $12\ \mu\text{s}$ （或 $12\ \mu\text{s}$ 上下）之範圍內。在另一具體實例中，第一時間週期可等於或大於第二時間週期。

【0125】 在一個具體實例中，第一脈衝片段3002中之每一者之脈衝持續時間等於（或至少實質上等於）第二脈衝片段3004中之每一者之脈衝持續時間。舉例而言，第一脈衝片段3002及第二脈衝片段3004可各自具有 $1\ \mu\text{s}$ （或 $1\ \mu\text{s}$ 上下）之脈衝持續時間。然而，在另一具體實例中，第一脈衝片段3002中之任一者之脈衝持續時間大於或小於第二脈衝片段3004中之任一者之脈衝持續時間。

【0126】 儘管圖30說明涉及具有不同光學功率的兩組脈衝片段（即，第一脈衝片段3002及第二脈衝片段3004）之脈衝分片技術，但將瞭解，前述脈衝分片技術可經修改以包括一或多個額外組之脈衝片段。每一額外組脈衝片段可包含光學功率不同於第一光學功率P1或第二光學功率P2之一或多個脈衝片段，或可具有不同於緊接於前的脈衝片段組之光學功率的光學功率。

b. 促進相對薄層之移除

【0127】 已發現，在藉由掃描雷射能量光束（例如，沿著上文相對於圖8至圖29例示性描述的掃描圖案，或以其他方式）於工件102中形成通孔（例如，如上文關於圖5及圖6所描述）時，若第一電導體結構502之厚度相對薄，若沿著諸如上文關於圖8至圖22及圖24(a)所描述之掃描圖案的掃描圖案掃描由雷射能量光束照射的加工光點，則如形成於工件102之第一電導體中的通孔開口可能具有不良圓度。出於論述之目的，若第一電導體結構502之一厚度小於 $5\ \mu\text{m}$ （或上下），則其可視為「相對薄」。舉例而言，相對薄的第一電導體結構502之厚度小於或等於 $4.5\ \mu\text{m}$ 、 $4\ \mu\text{m}$ 、 $3\ \mu\text{m}$ 、 $2.5\ \mu\text{m}$ 、 $2\ \mu\text{m}$ 、 $1.5\ \mu\text{m}$ 、 $1\ \mu\text{m}$ 等，或介於此等值中之任一者之間。

【0128】 實際上，如上所指出，在沿著諸如上文關於圖8至圖22及圖24(a)所描述之掃描圖案中之任一者的掃描圖案掃描由具有一組特性的雷射能量光束

照射的加工光點以移除厚度大於 $5\ \mu\text{m}$ （例如，大於 $5\ \mu\text{m}$ 、 $7\ \mu\text{m}$ 、 $9\ \mu\text{m}$ 、 $12\ \mu\text{m}$ 、 $18\ \mu\text{m}$ 、 $35\ \mu\text{m}$ 等，或介於此等值中之任一者之間）之第一電導體結構502時，雷射能量可均勻地分佈（或至少在某種程度上均勻地）在工件102之待形成通孔之區域上，隨後燒蝕第一電導體結構502。然而，由本申請人執行的模擬已展示，在沿著相同掃描圖案掃描相同雷射能量光束（例如，其特徵在於一組相同特性）時，若第一電導體結構502相對薄（如上文所論述），則第一電導體結構502將在沿著整個掃描圖案掃描加工光點之前被燒蝕。模擬之結果已藉由由本申請人執行的實驗確認。

【0129】 為改良形成於相對薄的第一電導體結構502（例如，在形成通孔（例如，盲通孔600或穿孔700）之過程期間）中的通孔開口之圓度，諸如上文關於圖8至圖22及圖24(a)所描述之掃描圖案中之任一者的掃描圖案可經修改以包括在掃描圖案之幾何質心處或附近（例如，在如圖8至圖22或圖24(a)中之任一者中所說明的座標0, 0處或附近）的一或多個光點位置。在此上下文中，圖8至圖22或圖24(a)中實際上說明的掃描圖案之光點位置在本文中稱為「加熱光點位置」，且在掃描圖案之幾何質心處或附近的一或多個光點位置在本文中稱為「移除光點位置」。加熱光點位置藉由雷射能量光束以如上文關於圖8至圖22或圖24(a)所描述的任何適合方式定址，且此後定址一或多個移除光點位置。然而，在定址加熱光點位置時，遞送至工件102的雷射能量光束的特徵在於足以均勻地（或至少在某種程度上均勻地）將第一電導體結構502之待形成通孔的區加熱至處於或接近第一電導體結構502之加工臨限溫度的溫度但不足以使得受熱的第一電導體結構502被燒蝕的一組特性（例如，在峰值功率、脈衝持續時間、脈衝能量等方面）。此後，使用特徵在於足以燒蝕（例如，藉由間接燒蝕、直接燒蝕，或其組合）第一電導體結構502之受熱區的一組特性（例如，在峰值功率、脈衝持續時間、脈衝能量等方面）的雷射能量光束定址經修改掃描圖案之一或多個移

除光點位置。

【0130】 在一個具體實例中，用以定址移除光點位置之雷射能量光束之一或多個脈衝中的峰值功率高於用以定址加熱光點位置中之每一者的雷射能量光束之一或多個脈衝中的峰值功率。將瞭解，每一雷射脈衝（不管其定址移除光點位置還是加熱光點位置）之峰值功率可取決於第一電導體結構502之厚度（即，隨著第一電導體結構502之厚度減小，所需的峰值功率較小）。舉例而言，對於厚度為2 μm 之第一電導體結構502，可藉由峰值功率在1 kW（或1 kW上下）至2 kW（或2 kW上下）之範圍內的雷射脈衝定址任何移除光點位置，且可藉由峰值功率在250 W（或250 W上下）至350 W（或350 W上下）之範圍內的雷射脈衝定址加熱光點位置。在第一電導體結構502之一厚度為1.5 μm 時，可藉由峰值功率在例如300 W（或300 W上下）至500 W（或500 W上下）之範圍內的雷射脈衝定址任何移除光點位置，且可藉由峰值功率在例如150 W（或150 W上下）至250 W（或250 W上下）之範圍內的雷射脈衝定址加熱光點位置。

【0131】 在另一具體實例中，用以定址移除光點位置的雷射能量光束之一或多個脈衝之脈衝持續時間大於或等於用以定址加熱光點位置的每一脈衝之脈衝持續時間。然而，一般而言，定址加熱光點位置之總時間量將大於定址一或多個移除光點位置之總時間量。舉例而言，定址一或多個移除光點位置之總時間量可在定址加熱光點位置之總時間量的10%（或10%上下）至25%（或25%上下）的範圍內。將瞭解，可在定址加熱光點位置之總時間量的大於25%（或25%上下）（例如，定址加熱光點位置之總時間量的30%至60%）內定址一或多個移除光點位置。在此情況下，在移除步驟期間遞送的雷射脈衝中的能量亦將用以移除介電結構500之一部分。

【0132】 在一些具體實例中，諸如在第一電導體結構502之加熱及移除期間遞送至工件102的雷射能量光束之峰值功率、脈衝持續時間之特性可藉由如上

文所論述操作第一定位器106而加以適當修改。

v. 關於特徵形狀扭曲之進一步論述

【0133】 如上文所論述，圖8至圖22及圖24(a)中說明的掃描圖案可表徵為具有在10 μm （或10 μm 上下）至60 μm （或60 μm 上下）之範圍內的半徑。將瞭解，可增大掃描圖案之半徑，其限制條件為掃描圖案特性（例如，掃描圖案中的光點位置之數目、掃描圖案中的光點位置之配置、定址掃描圖案中的光點位置之順序或次序、連續定址光點位置之間的距離等，或其任何組合）及遞送至工件102的雷射能量光束之特性（例如，平均功率、脈衝持續時間、脈衝重複率、脈衝能量、峰值功率、光點大小等，或其任何組合）得以維持或經修改以便足以形成具有合乎需要的特性之通孔，諸如如形成於第一電導體502中的通孔開口之形狀（例如，圓度）。

【0134】 舉例而言，若諸如圖17或圖19中所示的連續定址第二類型掃描圖案經修改以具有大於約60 μm （例如，70 μm 或更大）之半徑，則經修改之連續定址第二類型掃描圖案可例如包括更多光點位置（例如，以維持鄰近光點位置之間、連續定址光點位置之間的所要間距，等）。視情況，遞送至工件102的雷射能量光束之一或多個特性（例如，平均功率、脈衝持續時間、脈衝重複率、脈衝能量、峰值功率、光點大小，等）亦可經修改以形成具有合乎需要的特性的通孔，諸如如形成於第一電導體502中的通孔開口之形狀（例如，圓度）。然而，在修改連續定址第二類型掃描圖案時，可能有必要不簡單地包括更多光點位置（例如，以維持鄰近光點位置之間、連續定址光點位置之間的所要間距，等），此係因為掃描圖案中的第一光點位置與最末光點位置之間的第一電導體之一部分仍可保留，從而產生具有不良圓度之通孔開口。

【0135】 形成於工件102之第一電導體（例如，銅層）中的具有不良圓度之通孔開口之實例展示於圖46之顯微照片中。圖46中所示的通孔開口係藉由沿

著類似於圖17及圖19中所示的掃描圖案的連續定址第二類型掃描圖案掃描工件102上的加工光點（例如，由特性落入上文相對於圖17及圖19中所示的掃描圖案所描述的範圍內的雷射能量光束照射）而形成。然而，值得注意的是，掃描圖案之半徑增大至70 μm 。在圖46中所示的顯微照片中，位於虛線區內的「突出部」為通孔開口之不良圓度的原因。儘管不希望受任何特定理論束縛，但威信，在定址最末光點位置之時間之前，在掃描圖案之第一光點位置處或其附近的第一電導體502之一部分的溫度低於第一電導體502之加工臨限溫度。因此，在定址最末光點位置時，在第一光點位置處或附近的第一電導體502內不存在足夠熱能來促進其移除。

【0136】 在一個具體實例中，可藉由在已定址所有其他光點位置之後定址掃描圖案中的最初定址光點位置中之一或多者來改良第一電導體502中的通孔開口之圓度。舉例而言，參考圖47中所示的連續定址第二類型掃描圖案，在已定址第一至第二十四光點位置1至24之後，再次定址藉由第一光點位置1指定的掃描圖案中的位置（因此，藉由「1，25」指定的點表示掃描圖案中的第一光點位置及第二十五光點位置之位置）。視情況，先前定址的其他光點位置可在第二十五光點位置之後定址。舉例而言，且再次參考圖47，在定址光點位置25之後定址光點位置2（因此，藉由「2，26」指定的點表示彼此重疊的第二光點位置及第二十六光點位置之位置），且可在定址光點位置26之後定址光點位置3（因此，藉由「3，27」指定的點表示彼此重疊的第三光點位置及第二十七光點位置之位置）。如本文中所使用，彼此重疊（例如，如上文所論述）的光點位置在本文中稱為「連續定址第二類型掃描圖案重疊光點位置」。對於任何連續定址第二類型掃描圖案重疊光點位置，最末定址的光點位置稱為「最末定址重疊光點位置」。因此，在藉由「1，25」指定的光點位置處，光點位置25可稱為「最末定址重疊光點位置」，在藉由「2，26」指定的光點位置處，光點位置26可稱為「最末定址重疊光點位

置」，依此類推。

【0137】 在維持第一電導體中的通孔開口之合乎需要的圓度之上下文中，適當的連續定址第二類型掃描圖案將第一光點位置提供為連續定址第二類型掃描圖案重疊光點位置，且在第一光點位置之後的一或多個連續定址光點位置亦可提供為連續定址第二類型掃描圖案重疊光點位置。因此，可包括於第二類型掃描圖案中的連續定址第二類型掃描圖案重疊光點位置之數目可等於1、2、3、4、5等。替代指定包括於第二類型掃描圖案中的連續定址第二類型掃描圖案重疊光點位置之數目，可包括於第二類型掃描圖案中的連續定址第二類型掃描圖案重疊光點位置之數目可表示為第二類型掃描圖案中的光點位置之總數目的百分比。在此情況下，連續定址第二類型掃描圖案重疊光點位置可構成第二類型掃描圖案中的光點位置之總數目的高達12%（或12%上下）。舉例而言，百分比可為1%、2%、3%、4%、5%、6%、7%、8%、9%、10%、11%、12%、13%等，或介於此等值中之任一者之間。然而，最終，待包括於第二類型掃描圖案中的連續定址第二類型掃描圖案重疊光點位置之數目可取決於一或多個因素，諸如前述掃描圖案特性中之任一者、遞送至工件102的雷射能量光束之特性中之任一者（例如，波長、平均功率、脈衝持續時間、脈衝重複率、脈衝能量、峰值功率、光學強度、通量、光點大小，等）、工件102之特性（例如，第一電導體之厚度，等）等，或其任何組合。藉由提供如上文關於圖47所描述的連續定址第二類型掃描圖案，第一電導體之在第一光點位置（即，光點位置1）處或附近的區可積聚足夠熱能以促進其移除，藉此在第一電導體中得到具有良好圓度的通孔開口（例如，如圖48中所示）。應注意，若過多光點位置提供為連續定址第二類型掃描圖案重疊光點位置，則第一電導體可能被過度加工，從而再次在第一電導體中得到具有不良圓度的通孔開口，如圖49中所示。

【0138】 至此，諸如關於圖17及圖19所描述的掃描圖案中之任一者的連續

定址第二類型掃描圖案中之每一對連續定址光點位置之間的距離相同（或至少約相同）。舉例而言，圖17或圖19中之任一者中的光點位置3與4之間的距離與光點位置1與最末光點位置（即，圖17中的光點位置12，及圖19中的光點位置18）之間的距離相同（或約相同）。在維持第一電導體中的通孔開口之合乎需要的圓度之上下文中，適當的連續定址第二類型掃描圖案可經組態而使得含有待定址的最末光點位置之連續定址光點位置對之間的距離可低於其餘連續定址光點位置對的分離距離。舉例而言，參考圖50，光點位置24與25之間的距離可低於光點位置1與2之間、光點位置10與11之間等的距離。大體而言，待定址的最末兩個光點位置之間（例如，光點位置24與25之間）的距離可在任何其他對連續定址光點位置之間的距離之30%（或30%上下）與99%（或99%上下）之間的範圍內。藉由提供如上文關於圖50所描述的連續定址第二類型掃描圖案，第一電導體之在第一光點位置（即，光點位置1）處或附近的區可積聚足夠熱能以促進其移除，藉此在第一電導體中得到具有良好圓度之通孔開口。

【0139】 在另一具體實例中，連續定址第二類型掃描圖案可經修改以在至少一對連續定址光點位置之間包括一或多個光點位置。因此，在第二類型掃描圖案之一個部分中的連續定址光點位置可彼此鄰近（例如，如同連續定址第二類型掃描圖案），且在第二類型掃描圖案之另一部分中的連續定址光點位置可能不彼此鄰近（例如，如同非連續定址第二類型掃描圖案）。此類型之第二類型掃描圖案在本文中稱為「混合第二類型掃描圖案」。混合第二類型掃描圖案之一實例展示於圖51中。參考圖51，混合第二類型掃描圖案可包括配置於光點位置1與2之間的光點位置25（其在光點位置24之後連續地定址）。儘管圖51僅說明光點位置1與2之間的一個光點位置（即，光點位置25），但將瞭解，多個光點位置可配置於光點位置1與2或任何其他對連續定址光點位置之間。視情況，混合第二類型掃描圖案可進一步包括一或多個額外光點位置，諸如配置於一或多個額外對連續定址

光點位置（諸如光點位置2與3之間）之間的光點位置26（其在光點位置25之後連續定址）。藉由提供如上文關於圖51所描述的混合第二類型掃描圖案，第一電導體之在第一光點位置（即，光點位置1）處或附近的區可積聚足夠熱能以促進其移除，藉此在第一電導體中得到具有良好圓度之通孔開口（例如，如圖48中所示）。然而，最終，一對連續定址光點位置之間待添加的光點位置之數目或其間具有光點位置的連續定址光點位置對之數目可取決於一或多個因素，諸如前述掃描圖案特性中之任一者、遞送至工件102的雷射能量光束之特性中之任一者（例如，波長、平均功率、脈衝持續時間、脈衝重複率、脈衝能量、峰值功率、光學強度、通量、光點大小，等）、工件102之特性（例如，第一電導體之厚度，等）等，或其任何組合。應注意，若過多光點位置設置於一對連續定址光點位置之間或若過多對連續定址光點位置之間具有一或多個光點位置，則第一電導體可能被過度加工，從而在第一電導體中得到具有不良圓度的通孔開口（例如，如圖49中所示）。

【0140】 儘管具有相對較大半徑且用於產生具有良好圓度的開口的通孔之第二類型掃描圖案已在上文關於圖47、圖50及圖51單獨地論述，但應認識到，每一類型的第二類型掃描圖案所特有之特性可以任何合適或所要的方式加以組合。

B. 藉由衝壓加工之特徵形成

【0141】 為在工件102（例如，如上所述而組態）中形成諸如通孔（例如，盲通孔600，如圖6中例示性所示，或穿孔700，如圖7中例示性所示）之特徵，第一定位器106可提供為多軸AOD系統（例如，AOD系統200）且操作以在工件102處的相同（或實質上相同）位置處重複地產生加工光點。如本文所使用，術語「衝壓加工」係指將一組雷射脈衝遞送至工件102處的相同（或實質上相同）光點位置以形成特徵（例如，通孔或其他開口）之動作。在衝壓加工（例如，以形成諸

如通孔或其他開口之特徵)期間,第一定位器106可操作以便實現整個脈衝偏轉或部分脈衝偏轉(例如,如上文所論述,即脈衝分片),或整個脈衝偏轉與部分脈衝偏轉之組合。

【0142】 第一定位器106可在衝壓加工(例如,以形成諸如通孔或其他開口之特徵)期間操作以便防止工件102之材料(例如,介電結構500)被過度加熱(即,由於藉由雷射脈衝輻照)或以其他方式防止工件102(或工件102之一或多個構成結構)不合期望地翹曲、分層或以其他方式修改。如將在下文更詳細地論述,第一定位器106可在衝壓加工期間操作以確保一組雷射脈衝中的至少一對連續雷射脈衝內的雷射脈衝間歇性地遞送(即,一個雷射脈衝緊接在先前雷射脈衝之後在一定延遲之後開始),以相對於一組雷射脈衝中的另一雷射脈衝修改一雷射脈衝之光學功率、相對於一組雷射脈衝中的另一雷射脈衝修改一雷射脈衝之脈衝持續時間等,或其任何組合。

i. 關於脈衝分片之實例性具體實例

【0143】 參考圖32,第一定位器106可在衝壓加工期間操作以將母雷射脈衝(例如,母雷射脈衝3201)在時間上劃分成多個脈衝片段。因此,第一定位器106可操作以使至少一對連續劃分的脈衝片段內的脈衝片段偏轉主要角度範圍116內的相同角度(或至少實質上相同的角度)。將瞭解,多個脈衝片段自身可分組成多組脈衝片段(例如,脈衝片段組3200a及3200b,各自統稱為「脈衝片段組3200」)。在此情況下,第一定位器106可操作以使共同脈衝片段組3200內的脈衝片段偏轉在主要角度範圍116內的相同角度(或至少實質上相同的角度),且使不同脈衝片段組3200內的脈衝片段偏轉在主要角度範圍116內的不同角度(或至少實質上不同的角度)。舉例而言,第一定位器106可操作以使脈衝片段組3200a內的脈衝片段偏轉在圖1中所示的主要角度範圍116內的第一角度(或在圖31中所示的第一主要角度範圍116a內的角度),且使脈衝片段組3200b內的脈衝片段偏轉

在圖1中所示的主要角度範圍116內的第二角度（或在圖31中所示的第二主要角度範圍116b內的角度）。然而，應瞭解，脈衝片段組3200a及3200b內的脈衝片段可視為共同脈衝片段組，且因此，脈衝片段組3200a及3200b之全部脈衝片段可偏轉至在主要角度範圍116內的相同（或至少實質上相同）角度。如例示性說明，在給定時間點處，一脈衝片段之功率小於其在時間上劃分所來自的母雷射脈衝3201之功率。母雷射脈衝3201與脈衝片段之間的功率差異可為第一定位器106操作以產生脈衝片段時第一定位器106中的一或多個AOD之繞射效率、與第一定位器106中的AOD之使用相關聯的固有光學損失等或其任何組合之結果。

【0144】 在所說明之具體實例中，脈衝片段組3200a包括主要脈衝片段3202a及多個輔助脈衝片段3204a。同樣，在所說明之具體實例中，脈衝片段組3200b包括主要脈衝片段3202b及多個輔助脈衝片段3204b。如本文中所使用，主要脈衝片段3202a及3202b中之每一者可統稱為「主要脈衝片段3202」，且輔助脈衝片段3204a及3204b中之每一者可統稱為「輔助脈衝片段3204」。在所說明之具體實例中，主要脈衝片段3202之脈衝持續時間及脈衝能量大於每一輔助脈衝片段3204之脈衝持續時間及脈衝能量。然而，在其他具體實例中，脈衝片段組3200a可包括多個主要脈衝片段3202a及一或多個輔助脈衝片段3204a。同樣，在其他具體實例中，脈衝片段組3200b可包括多個主要脈衝片段3202b及一或多個輔助脈衝片段3204b。

【0145】 在一個具體實例中，主要脈衝片段3202通常用以燒蝕（即，經由直接燒蝕、間接燒蝕，或其組合）工件102之第一電導體結構502。在此情況下，單一主要脈衝片段3202之脈衝持續時間及脈衝能量足以燒蝕工件102之第一電導體結構502。在另一情況下，共同脈衝片段組3200中的多個主要脈衝片段3202中之每一者之脈衝持續時間及脈衝能量足夠使得藉由多個主要脈衝片段3202來實現第一電導體結構502之燒蝕。然而，在另一具體實例中，若第一電導體結構

502並不在所要光點位置存在於工件102上，則一或多個主要脈衝片段3202可用來燒蝕（即，經由直接燒蝕、間接燒蝕，或其組合）工件102之介電結構500。應注意，脈衝片段組中的至少一個主要脈衝片段3202之脈衝持續時間、脈衝能量、峰值光學功率、時間光學功率輪廓（例如，矩形，如藉由圖32中的各種脈衝片段所展示）可大於、小於或相同於相同脈衝片段組中的任何其他主要脈衝片段3202之脈衝持續時間、脈衝能量、峰值光學功率、時間光學功率輪廓（例如，矩形，如藉由圖32中的各種脈衝片段所展示）。

【0146】 在一個具體實例中，每一輔助脈衝片段3204通常用以移除工件102之介電結構500，而不顯著加工第二電導體結構504（例如，以形成盲通孔，諸如盲通孔600）。在此情況下，每一輔助脈衝片段3204之脈衝持續時間及脈衝能量足以移除（例如，經由燒蝕、汽化、熔融等，或其任何組合）工件102之第一電導體結構502，且至少最末輔助脈衝片段3204之脈衝持續時間及/或脈衝能量足以移除工件102之介電結構500，而不顯著加工第二電導體結構504。因此，脈衝片段組中的至少一個輔助脈衝片段3204之脈衝持續時間、脈衝能量、峰值光學功率、時間光學功率輪廓（例如，矩形，如藉由圖32中的各種脈衝片段所展示）可大於、小於或相同於相同脈衝片段組中的任何其他輔助脈衝片段3204之脈衝持續時間、脈衝能量、峰值光學功率、時間光學功率輪廓（例如，矩形，如藉由圖32中的各種脈衝片段所展示）。

【0147】 在另一具體實例中，一或多個輔助脈衝片段3204可用來燒蝕（即，經由直接燒蝕、間接燒蝕，或其組合）工件102之第二電導體結構504。在此情況下，在已燒蝕第二電導體結構504之後遞送至工件102的一或多個輔助脈衝片段3204可用來移除（例如，經由燒蝕、汽化、熔融等，或其任何組合）介電結構508（例如，以形成穿孔，諸如穿孔700）。因此，脈衝片段組中的至少一個輔助脈衝片段3204之脈衝持續時間、脈衝能量、峰值光學功率、時間光學功率輪廓（例如，

矩形，如藉由圖32中的各種脈衝片段所展示)可大於、小於或相同於相同脈衝片段組中的任何其他輔助脈衝片段3204之脈衝持續時間、脈衝能量、峰值光學功率、時間光學功率輪廓(例如，矩形，如藉由圖32中的各種脈衝片段所展示)。

【0148】 然而，在又一具體實例中，脈衝片段組3200a及3200b可用以形成穿孔(例如，穿孔700)。在此情況下，脈衝片段組3200a可用來依序自第一電導體結構502及介電結構500移除材料，且脈衝片段組3200b可用來依序自第二電導體結構504及介電結構508移除材料。

【0149】 在又一具體實例中，若介電結構500為非同質材料(例如，FR4，其已知為在環氧樹脂基質內含有例如編織玻璃纖維布的玻璃強化環氧樹脂層壓體)，且若介電結構500之在工件102之所要光點位置處的部分含有一定量的玻璃材料，則意欲移除玻璃材料之至少一個輔助脈衝片段3204的脈衝持續時間及脈衝能量可相對於僅預期移除環氧樹脂的至少一個其他輔助脈衝片段3204之脈衝持續時間及脈衝能量加以修改，使得可高效地移除(例如，經由燒蝕、汽化、熔融等，或其任何組合)所要光點位置處之玻璃材料。因此，脈衝片段組中的至少一個輔助脈衝片段3204之脈衝持續時間、脈衝能量、峰值光學功率、時間光學功率輪廓(例如，矩形，如藉由圖32中的各種脈衝片段所展示)可大於、小於或相同於相同脈衝片段組中的任何其他輔助脈衝片段3204之脈衝持續時間、脈衝能量、峰值光學功率、時間光學功率輪廓(例如，矩形，如藉由圖32中的各種脈衝片段所展示)。

【0150】 若在衝壓加工期間間歇性地遞送連續雷射脈衝，則第一定位器106可操作以確保一個雷射脈衝之開始與先前雷射脈衝之結束之間的時間量(在本文中亦稱為「間隙時間」)足以允許在光點位置處或附近的材料在遞送下一雷射脈衝之前在某種程度上冷卻(例如，冷卻至低於材料之損壞臨限溫度)。舉例而言，且參考圖32，第一定位器106可操作以確保脈衝片段組3200a之第一輔助脈

衝片段3204a之開始與脈衝片段組3200a之主要脈衝片段3202a之結束之間的時間 $Tg1a$ 足以允許在光點位置處或附近的介電結構500之材料在遞送第一輔助脈衝片段3204a之前在某種程度上冷卻，藉此避免不合需要地修改在光點位置處或附近的介電結構500之材料。在脈衝片段組3200b之第一輔助脈衝片段3204b之開始與脈衝片段組3200b之主要脈衝片段3202b之結束之間的時間 $Tg1b$ 可大於、小於或等於間隙時間 $Tg1a$ 。

【0151】 如圖32中所示，第一定位器106亦可操作以確保脈衝片段組3200a之連續遞送的輔助脈衝片段3204a之間的時間 $Tg2$ 足以使在光點位置處或附近的介電結構500之材料維持在足以允許介電結構500之合適加工而不不合期望地破壞周圍材料之溫度。脈衝片段組3200b之連續遞送的輔助脈衝片段3204b之間的時間可大於、小於或等於間隙時間 $Tg2$ 。

a. 雷射脈衝組之依序與交插偏轉

【0152】 參考圖32，第一定位器106可在衝壓加工期間操作以將母雷射脈衝3201在時間上劃分成多個脈衝片段組3200，其中雷射脈衝片段組3200a內之脈衝片段在雷射脈衝片段組3200b內的脈衝片段偏轉至不同角度之前全部偏轉至在主要角度範圍116內的相同（或至少實質上相同）角度。以此方式，第一定位器106操作以根據依序偏轉技術偏轉雷射脈衝片段組3200a及3200b。在其他具體實例中，第一定位器106可操作以根據交插偏轉技術偏轉雷射脈衝片段組3200a及3200b。在交插偏轉技術中，第一定位器106在衝壓加工期間操作以將母雷射脈衝3201在時間上劃分成多個脈衝片段組3200，其中雷射脈衝片段組3200a及3200b內的一或多個脈衝片段交替地在主要角度範圍116內的不同角度之間偏轉。

【0153】 舉例而言，參考圖33，第一定位器106可根據交插偏轉技術操作，其中主要脈衝片段3202a偏轉在圖1中所示的主要角度範圍116內的第一角度（或

在圖31中所示的第一主要角度範圍116a內的第一角度)，且接著主要脈衝片段3202b偏轉在圖1中所示的主要角度範圍116內的第二角度（或在圖31中所示的第二主要角度範圍116b內的第一角度），且接著輔助脈衝片段3204a偏轉在圖1中所示的主要角度範圍116內的第一角度（或在圖31中所示的第一主要角度範圍116a內的第一角度），且接著輔助脈衝片段3204b偏轉在圖1中所示的主要角度範圍116內的第二角度（或在圖31中所示的第二主要角度範圍116b內的第一角度）。

【0154】 在另一實例中，且參考圖34，第一定位器106可根據類似於關於圖33論述的技術之交插偏轉技術操作，但輔助脈衝片段3204a及3204b交替地在圖1中所示的主要角度範圍116內的第一角度與第二角度之間（或在圖31中所示的第一主要角度範圍116a與第二主要角度範圍116b之第一角度之間）偏轉。

【0155】 考量脈衝片段組中的脈衝片段之間的前述間隙時間，藉由衝壓加工形成特徵（例如，通孔或其他開口）所必要的總時間量可取決於第一定位器106根據依序偏轉技術還是交插偏轉技術操作而變化。舉例而言，若使用脈衝片段組3200a形成特徵所必要之總時間量為 T_a ，且使用脈衝片段組3200b形成特徵所必要之總時間量為 T_b （其中 T_b 可大於、小於或等於 T_a ），則在第一定位器106根據依序偏轉技術操作（參見例如圖32）時，使用脈衝片段組3200a及3200b形成兩個特徵所必要之總時間量為 T_{t1} 。然而，使用圖33中所示的交插偏轉技術，使用脈衝片段組3200a及3200b形成相同的兩個特徵所必要之總時間量為 T_{t2} ，其小於 T_{t1} 。請注意，在圖33中，間隙時間 $T_{g1b'}$ 展示為大於間隙時間 T_{g1b} ，但可藉由例如調整輔助脈衝片段3204a之脈衝持續時間及/或功率、藉由調整主要脈衝片段3202b與第一輔助脈衝片段3204a之間的時間、藉由調整輔助脈衝片段3204a之間的時間 T_{g2} 、藉由調整最末輔助脈衝片段3204a與第一輔助脈衝片段3204b之間的時間等或其任何組合來使其等於間隙時間 T_{g1b} 。

【0156】 同樣，使用圖34中所示的交插偏轉技術，使用脈衝片段組3200a

及3200b形成相同的兩個特徵所必要的總時間量為 $Tt2$ 。請注意，在圖34中，間隙時間 $Tg1b$ "展示為小於間隙時間 $Tg1b$ ，但可藉由例如調整第一輔助脈衝片段3204a之脈衝持續時間及/或功率、藉由調整主要脈衝片段3202b與第一輔助脈衝片段3204a之間的時間、藉由調整輔助脈衝片段3204a之間的時間 $Tg2$ 等或其任何組合來使其等於間隙時間 $Tg1b$ 。

【0157】 儘管本文中已相對於衝壓加工論述具體實例，但將瞭解，此等具體實例亦可適用於使用掃描圖案（藉由沿著本文中例如關於圖8至圖29、圖47、圖50或圖51所例示性描述的任何掃描圖案掃描加工光點，或以其他方式）來形成特徵。

b. 關於雷射脈衝組之額外實施例

【0158】 在圖32至圖34中說明的具體實例中，脈衝片段組中的脈衝片段中之每一者具有矩形時間功率輪廓，且脈衝片段組中的任何脈衝片段之峰值光學功率與脈衝片段組中的所有其他脈衝片段之峰值光學功率相同。在另一具體實例中，脈衝片段組中的一或多個脈衝片段可具有任何其他形狀之時間功率輪廓，脈衝片段組中的任何脈衝片段之峰值光學功率可不同於脈衝片段組中的任何其他脈衝片段之峰值光學功率，或其任何組合。

【0159】 另外，在圖32至圖34中說明的範例為在不同脈衝片段組之間，一個脈衝片段組內的脈衝片段之特性（即，在脈衝能量、脈衝持續時間、時間功率輪廓、脈衝片段數目、間隙時間等方面）與另一脈衝片段組內的對應脈衝片段之特性相同（或實質上相同）。因此，自共同母脈衝在時間上劃分出的脈衝片段組可視為相同。在另一具體實例中，一個脈衝片段組中的至少一個脈衝片段之至少一個特性（例如，在脈衝能量、脈衝持續時間、時間功率輪廓、脈衝片段數目、間隙時間等方面）不同於另一脈衝片段組中的至少一個對應脈衝片段之特性。因此，自共同母脈衝在時間上劃分出的脈衝片段組可視為不同。

【0160】 圖35至圖45說明可藉由操作第一定位器106在衝壓過程期間或在掃描加工光點(例如,藉由沿著如本文所論述的前述掃描圖案中之任一者掃描加工光點,或以其他方式)以形成特徵(例如,通孔,諸如盲通孔、穿孔,或其他開口)期間產生的例示性脈衝片段組之其他具體實例。

【0161】 參考圖42,輔助脈衝片段3204之時間功率輪廓連續地調變(例如,如向下傾斜線所展示)。在此情況下,圖42中所示的輔助脈衝片段3204可偏轉在主要角度範圍116內的單一角度或可偏轉在共同主要角度範圍116內的多個角度(例如,隨時間推移)。在圖42中,附圖標記3204'表示替代輔助脈衝片段至輔助脈衝片段3204,其中時間功率輪廓連續地調變(例如,以隨時間推移增大而非減小)。圖44及圖45說明替代具體實例,其中輔助脈衝片段3204可具有不同的連續調變時間功率輪廓。

【0162】 參考圖43,以逐步方式調變輔助脈衝片段3204之時間功率輪廓。在此情況下,圖43中所示的輔助脈衝片段3204可偏轉在主要角度範圍116內的單一角度,或可偏轉在共同主要角度範圍116內的多個角度(例如,隨時間推移)。如同圖42中所示的實施例,圖43中所示的輔助脈衝片段3204可翻轉(例如,使得輔助脈衝片段3204在經調變以具有相對較高光學功率之前具有相對較低光學功率)。

IX. 結論

【0163】 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。雖然已參考圖式描述幾個特定具體實例及實例,熟習此項技術者將易於瞭解,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。相應地,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,所屬領域中具有通常知識者將瞭解,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，除非此等組合彼此互斥。本發明之範圍因此應由以下申請專利範圍判定，且該等技術方案之等效物包括於本發明之範圍中。

【符號說明】**【0164】**

100:雷射加工設備

102:工件

102a:工件

102b:工件

104:雷射源

106:第一定位器

108:第二定位器

108a:第二定位器

108b:第二定位器

110:第三定位器

112:掃描透鏡

112a:掃描透鏡

112b:掃描透鏡

114:光束路徑

114':光束路徑

114":光束路徑

116:主要角度範圍

116a:第一主要角度範圍

116b:第二主要角度範圍

118:輔助角度範圍
118a:第一輔助角度範圍
118b:第二輔助角度範圍
120:掃描頭
120a:掃描頭
120b:掃描頭
122:控制器
200:多軸AOD系統
202:第一AOD
204:第二AOD
206:第一AOD角度範圍
208:第二AOD角度範圍
300:母雷射脈衝
300a:第一脈衝片段
300b:第二脈衝片段
400a:脈衝片段
400b:脈衝片段
400c:脈衝片段
400d:脈衝片段
500:介電結構
502:第一電導體結構
504:第二電導體結構
506:箭頭
508:介電結構

600:盲通孔

700:穿孔

800:掃描圖案

3000:母雷射脈衝

3002:第一脈衝片段

3004:第二脈衝片段

3100:雷射加工設備

3200:脈衝片段組

3200a:脈衝片段組

3200b:脈衝片段組

3201:母雷射脈衝

3202:主要脈衝片段

3202a:主要脈衝片段

3202b:主要脈衝片段

3204:輔助脈衝片段

3204a:輔助脈衝片段

3204b:輔助脈衝片段

【發明申請專利範圍】

【請求項1】一種在包含第一結構及第二結構之工件內形成特徵之方法，其中該特徵包括形成於該第一結構中的開口，所述方法包含：

掃描引導至該工件上的雷射能量光束，使得該雷射能量光束入射於該第一結構上，其中所述掃描包括藉由將所述雷射能量遞送到多個光點位置中的每一個而按順序定址掃描圖案之所述多個光點位置，使得所述多個光點位置中連續定址的成對光點位置中的光點位置的中心之間的距離大於空間上相鄰的成對光點位置中的光點位置的中心之間的距離；

在該雷射能量的掃描期間，加熱該第一結構之一區和使靠近該第一結構的經加熱的該區之該第二結構蒸發；以及

僅在所述多個光點位置中的所有光點位置已定址之後，在經蒸發的所述介電結構的壓力的影響下，將所述金屬結構的加熱區域從所述工件上射出。

【請求項2】如請求項1之方法，其中該第一結構為導電結構，且該第二結構為介電結構。

【請求項3】如請求項2之方法，其中該第一結構之厚度在1 μm 至20 μm 之範圍內。

【請求項4】如請求項1之方法，其中該雷射能量之波長在電磁光譜之紅外線範圍內。

【請求項5】如請求項1之方法，其中該雷射能量之波長在電磁光譜之紫外線範圍內。

【請求項6】如請求項1之方法，其中掃描該雷射能量光束包括將至少一個雷射脈衝遞送至該多個光點位置中之每一者。

【請求項7】如請求項6之方法，其中掃描該雷射能量光束包括將僅一個雷射脈衝遞送至該多個光點位置中之至少一者。

【請求項8】如請求項1之方法，其中掃描該雷射能量光束包含：

在雷射源處產生第一雷射脈衝；以及

將該第一雷射脈衝在時間上劃分成多個第二雷射脈衝。

【請求項9】如請求項8之方法，其中該多個第二雷射脈衝中之至少兩者具有不同脈衝持續時間。

【請求項10】如請求項8之方法，其中該多個第二雷射脈衝中之至少兩者具有相同脈衝持續時間。

【請求項11】如請求項8之方法，其中該多個第二雷射脈衝中之至少一者之該脈衝持續時間小於或等於1 μs 。

【請求項12】如請求項11之方法，其中該多個第二雷射脈衝中之至少一者之該脈衝持續時間小於或等於0.5 μs 。

【請求項13】如請求項12之方法，其中該多個第二雷射脈衝中之至少一者之該脈衝持續時間小於或等於0.25 μs 。

【請求項14】如請求項13之方法，其中該多個第二雷射脈衝中之至少一者之該脈衝持續時間小於或等於0.125 μs 。

【請求項15】如請求項8之方法，其中該多個第二雷射脈衝中之至少兩者具有不同峰值功率。

【請求項16】如請求項8之方法，其中該多個第二雷射脈衝中之至少兩者具有相同峰值功率。

【請求項17】如請求項8之方法，其中在時間上劃分該第一雷射脈衝包含繞射該第一雷射脈衝。

【請求項18】如請求項1之方法，其中所述多個光點位置中連續定址的成對光點位置中的光點位置的中心之間的該距離小於15 μm 。

【請求項19】如請求項18之方法，其中所述多個光點位置中連續定址的成對

光點位置中的光點位置的中心之間的該距離小於10 μm 。

【請求項20】如請求項1之方法，其中定址所述多個光點位置包括以大於或等於20 kHz之速率定址所述多個光點位置中的不同光點位置。

【請求項21】如請求項20之方法，其中該速率大於或等於1 MHz。

【請求項22】如請求項21之方法，其中該速率大於或等於2 MHz。

【請求項23】如請求項22之方法，其中該速率大於或等於5 MHz。

【請求項24】如請求項23之方法，其中該速率大於或等於8 MHz。

【請求項25】如請求項1之方法，其中

該第一結構為金屬，且

在該第一結構從所述工件射出時，該第一結構之一部分熔融。

【請求項26】如請求項25之方法，其中在該第一結構從所述工件射出時，該第一結構之另一部分未熔融，其中該未熔融部分由該熔融部分圍繞。

【請求項27】一種用於在包含第一結構及第二結構之工件內形成特徵之設備，其中該特徵包括形成於該第一結構中的開口，該設備包含：

雷射源，其可操作以產生雷射能量光束，其中該雷射能量光束可沿著光束路徑傳播以待入射於該工件之該第一結構上；

定位器，其可操作以使該光束路徑偏轉；以及

控制器，其以通信方式耦接至該定位器，其中該控制器經組態以控制該定位器之操作，以實現如請求項1-26中任一項所述的方法中的掃描過程。

【請求項28】一種與用於在工件內形成特徵的設備一起使用的控制器，該工件包括第一結構和第二結構，其中該特徵包括形成在該第一結構中的開口，並且其中該設備包括能操作以產生雷射能量束的雷射源，其中所述雷射能量束能沿著光束路徑傳播以入射到所述工件的所述第一結構上，以及能操作以偏轉所述光束路徑的定位器，該控制器包括：

處理器，所述處理器以通訊方式耦接到所述定位器；以及

記憶體，所述處理器可存取所述記憶體，其中所述記憶體具有存儲在其上的指令，當所述處理器執行所述指令時，使所述處理器控制所述定位器的操作以實現如請求項1-26中任一項所述的方法中的掃描製程。

【請求項29】一種與用於在工件內形成特徵的設備一起使用的非暫時性電腦可讀取媒體，所述工件包括第一結構和第二結構，其中所述特徵包括形成在所述第一結構中的開口，並且其中所述設備包括雷射源，該雷射源能操作以產生雷射能量束，其中所述雷射能量束可沿著光束路徑傳播以入射到所述工件的該第一結構上，定位器能操作以偏轉所述光束路徑，以及控制器能操作以控制所述定位器的操作，所述非暫時性電腦可讀取媒體其上存儲有指令，當所述指令由所述控制器執行時，使所述控制器執行請求項1-26中任一項所述的方法。

【發明圖式】

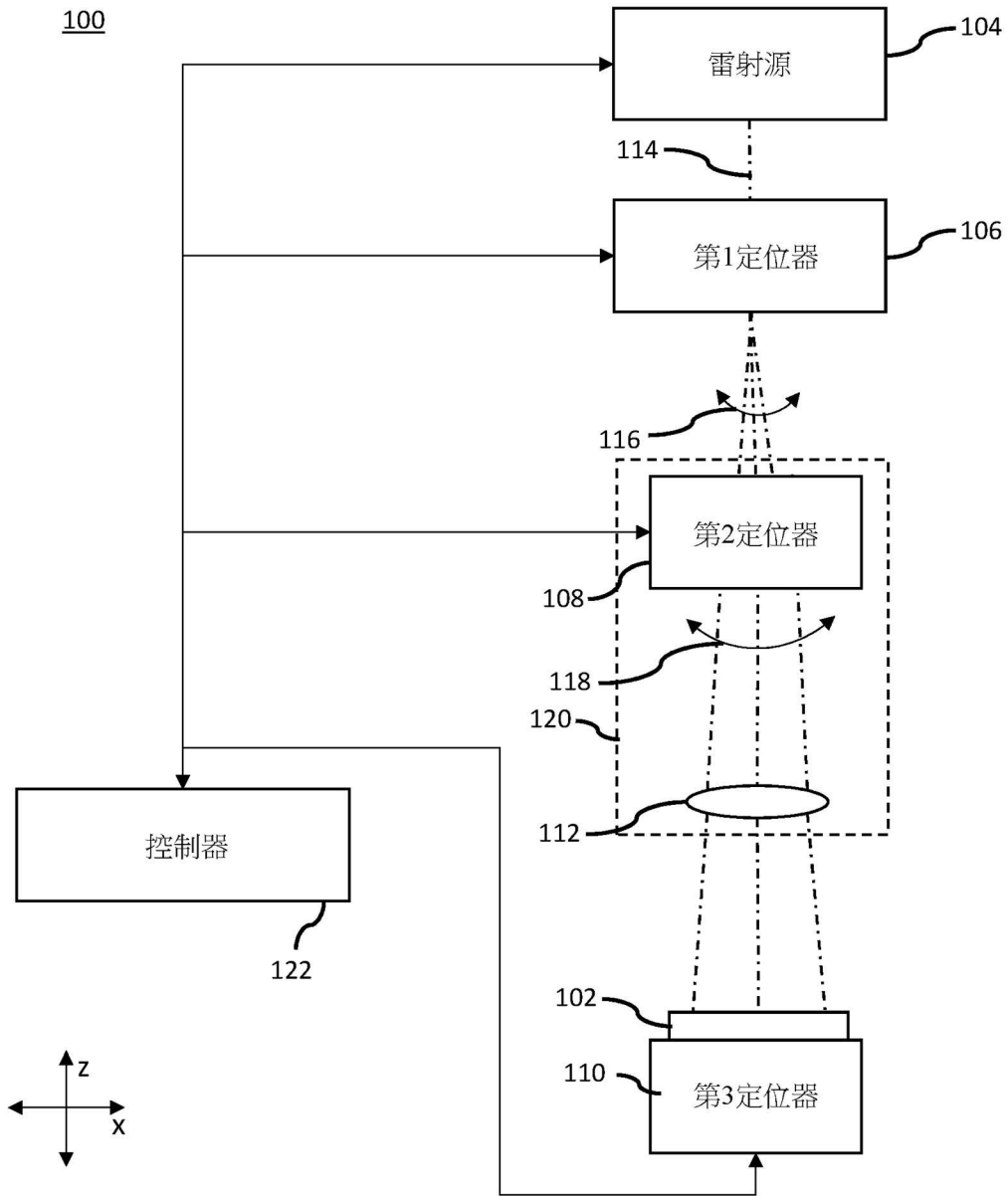


圖1

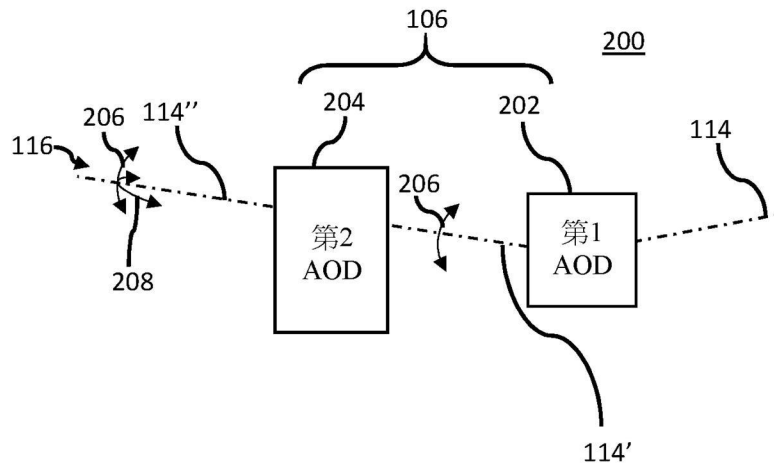


圖2

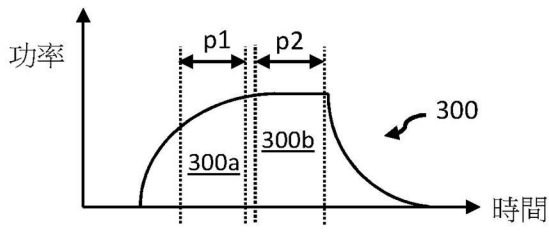


圖3

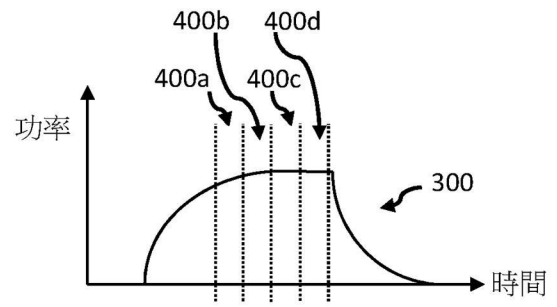


圖4

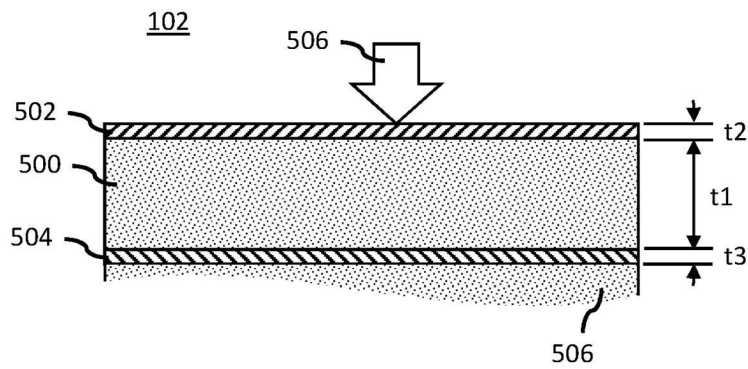


圖5

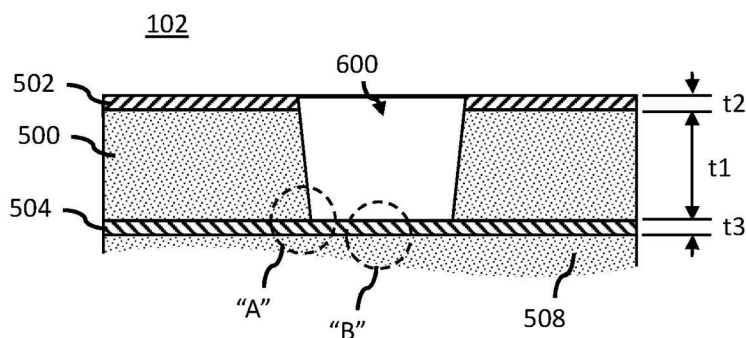


圖6

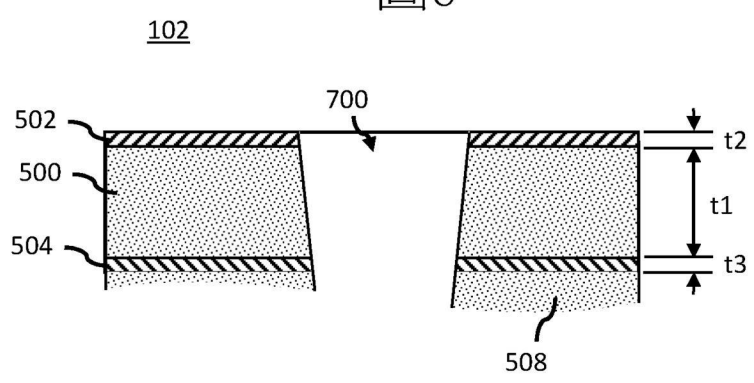


圖7

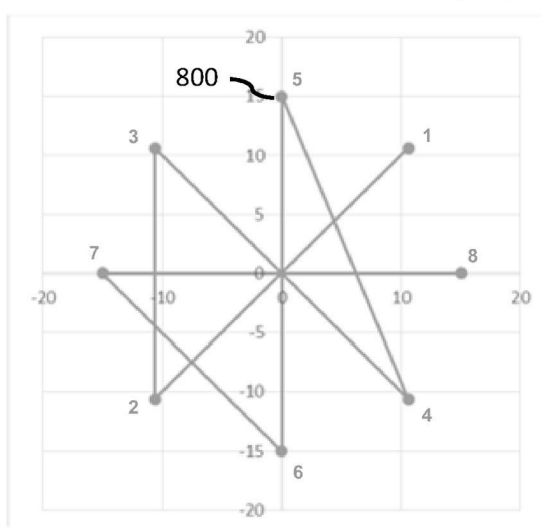


圖8

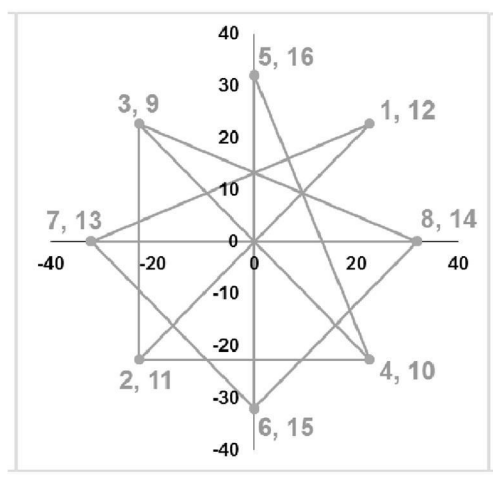


圖9

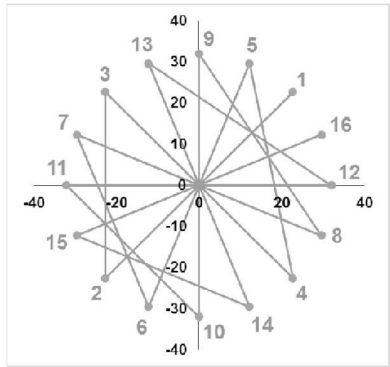


圖10

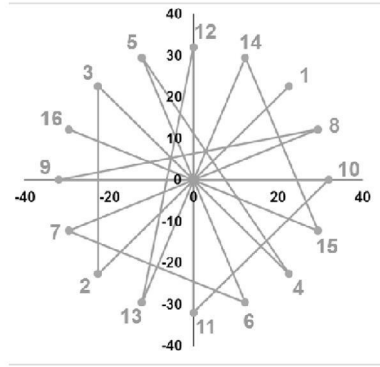


圖11

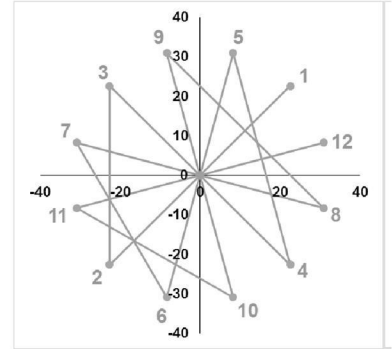


圖12

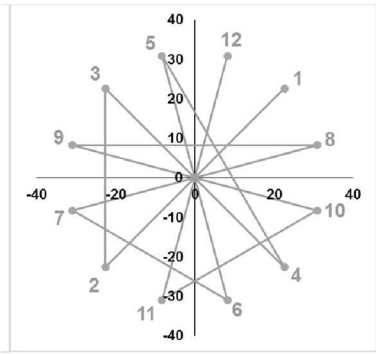


圖13

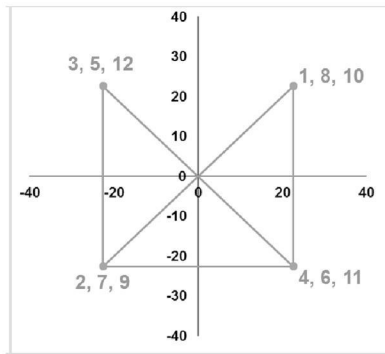


圖14

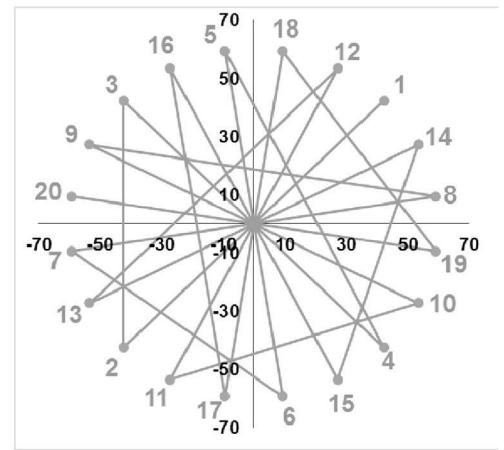


圖15

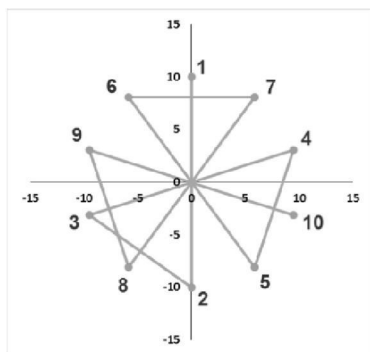


圖16

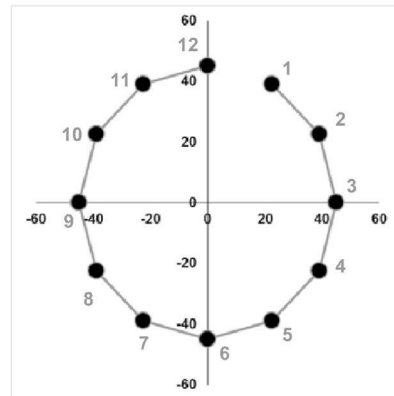


圖17

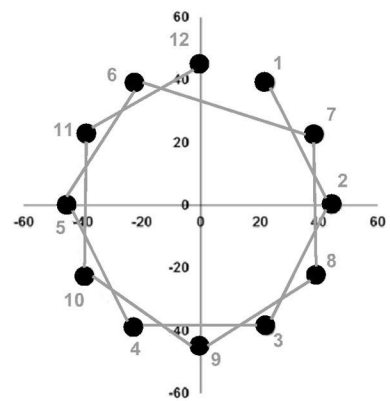


圖18

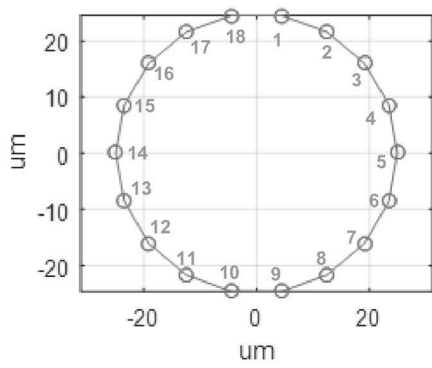


圖19

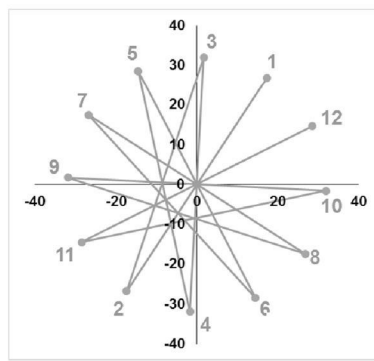


圖20

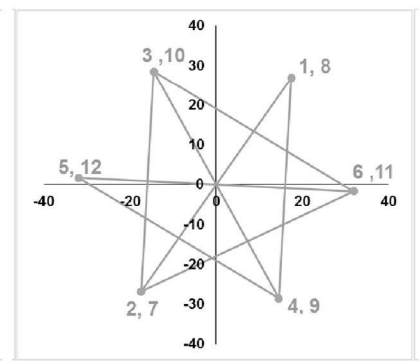


圖21

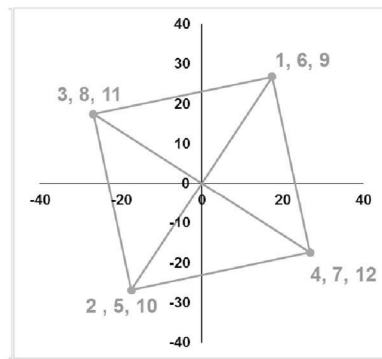


圖22

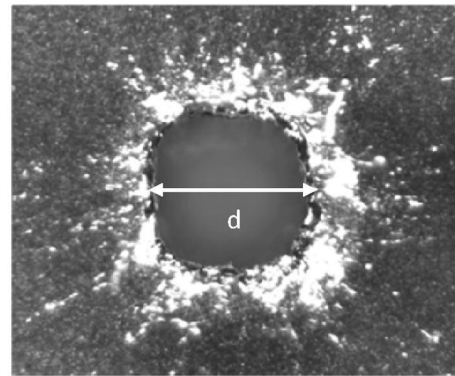


圖23

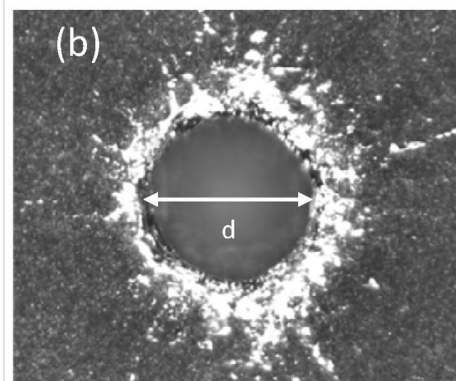
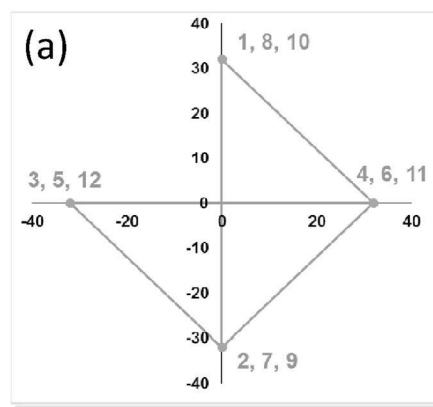


圖24

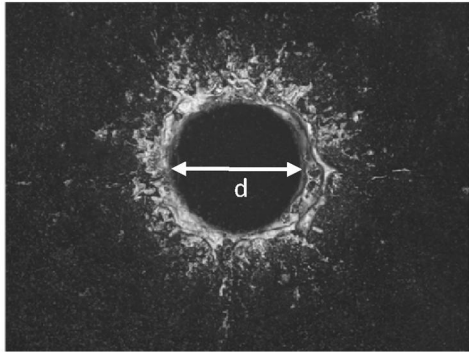


圖25

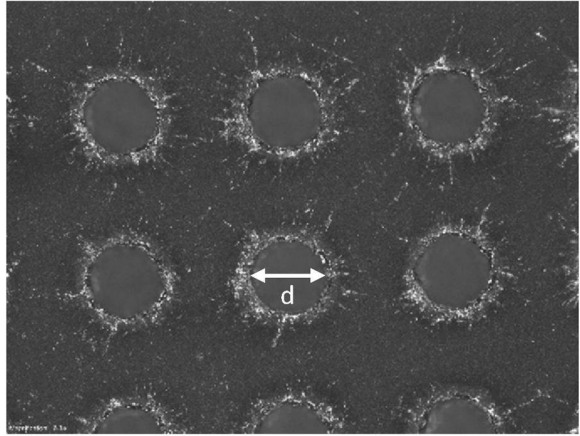


圖26

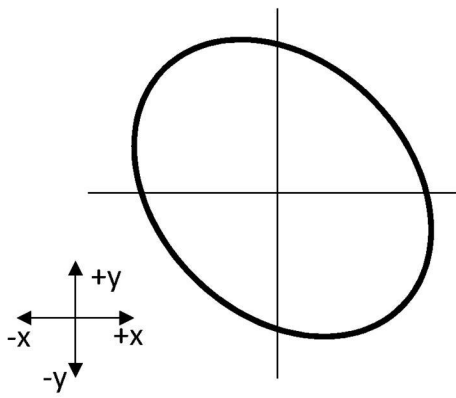


圖27

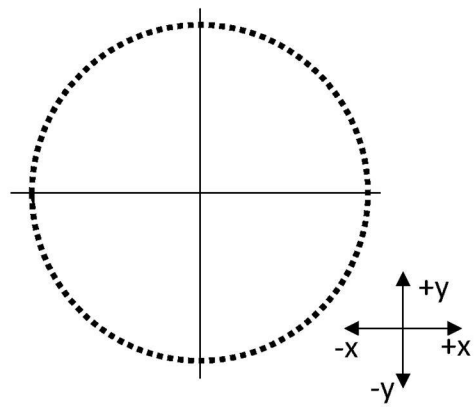


圖28

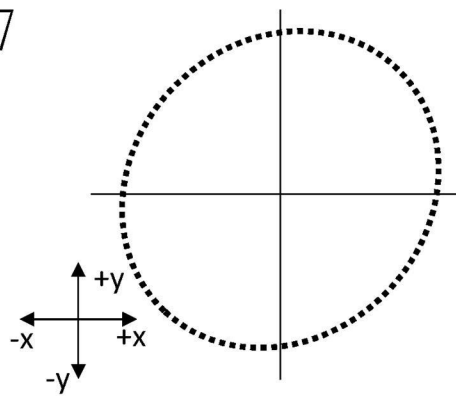


圖29

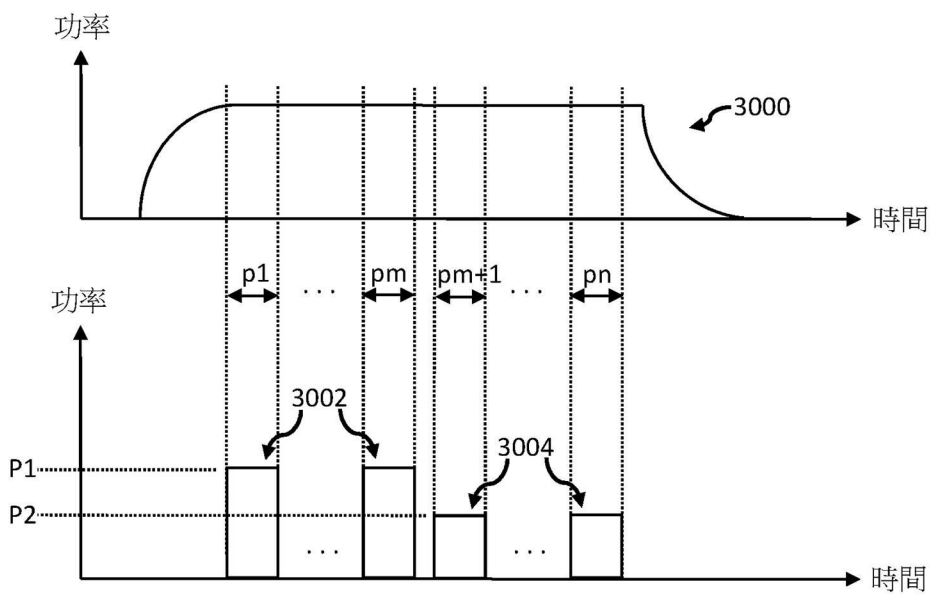


圖30

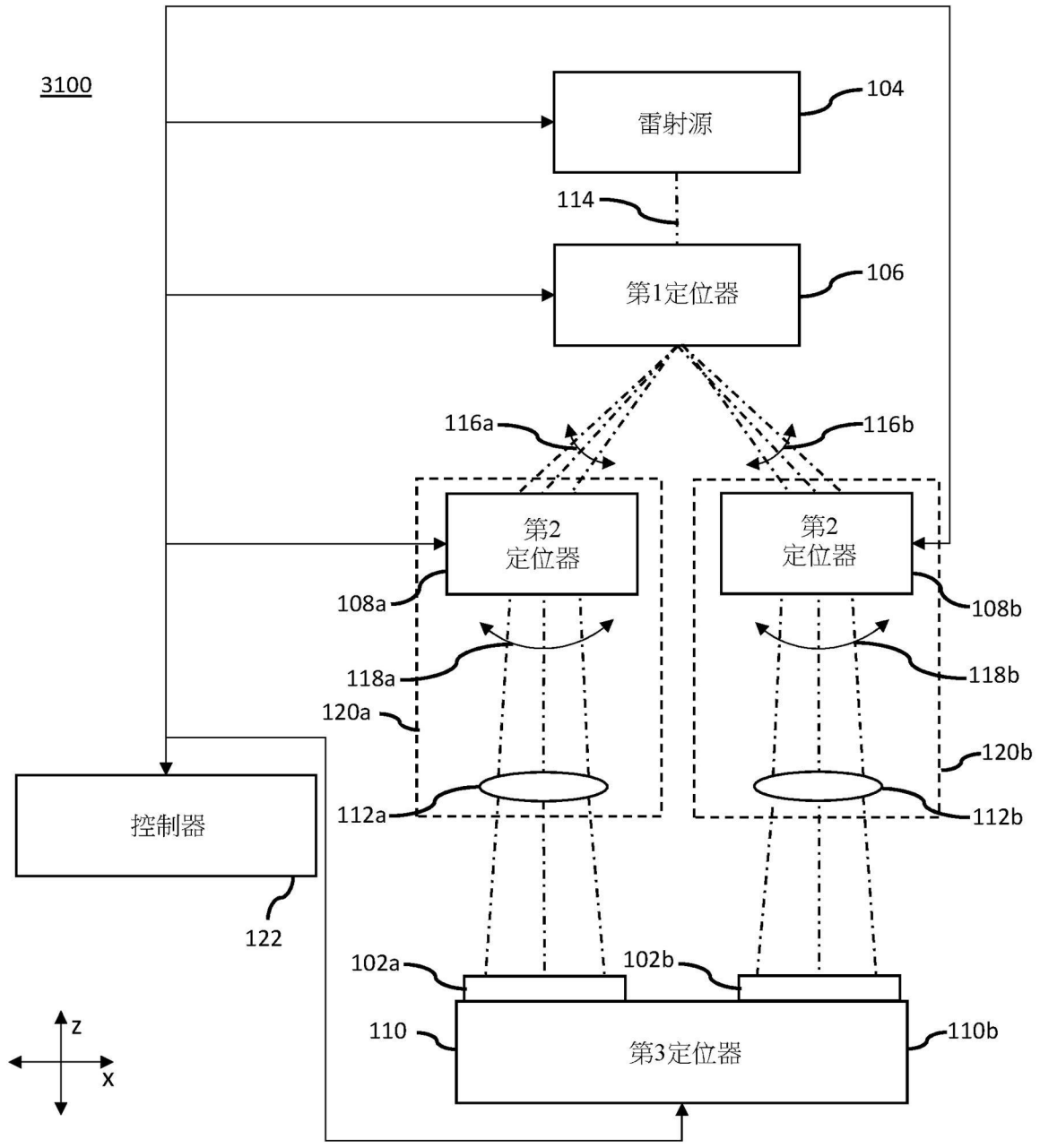


圖31

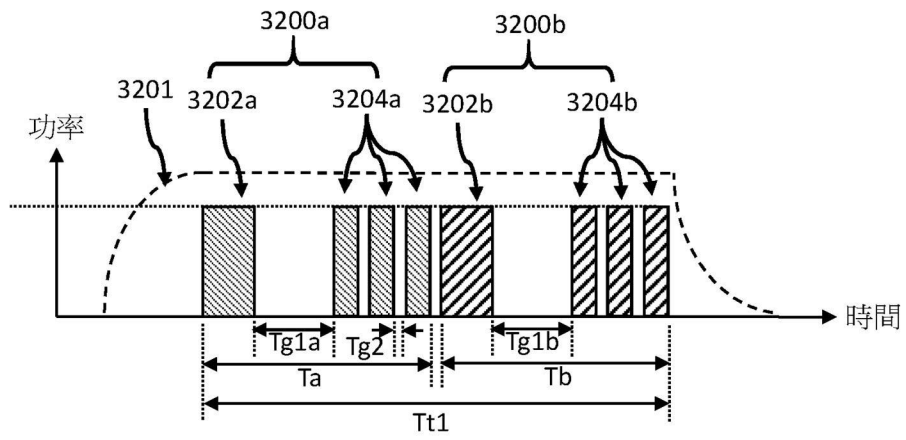


圖32

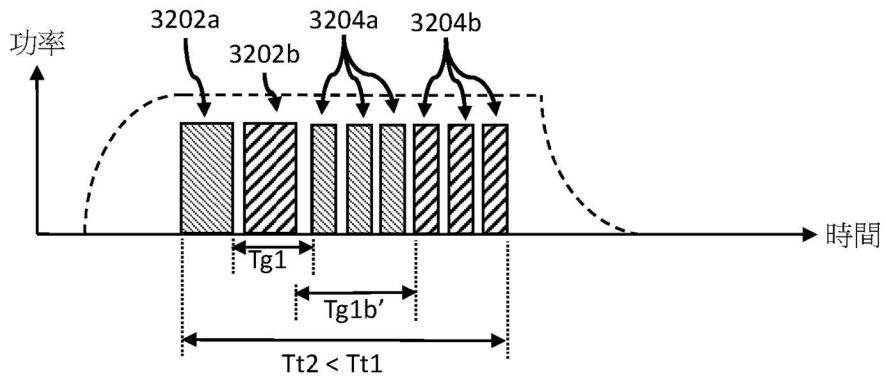


圖33

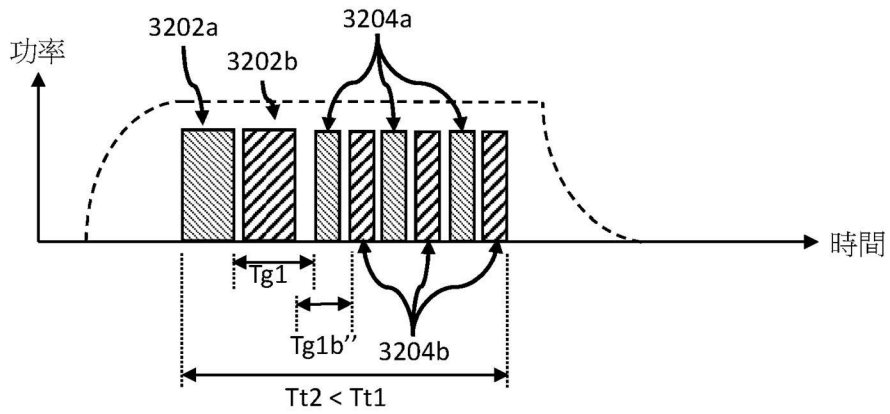


圖34

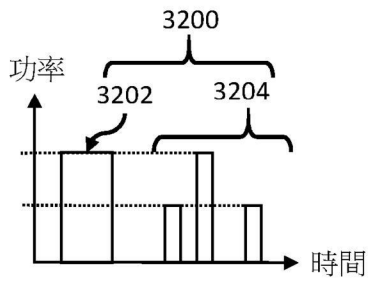


圖35

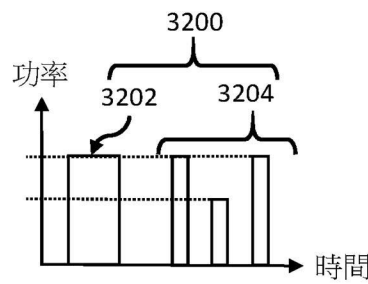


圖36

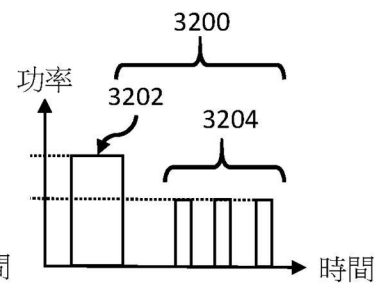


圖37

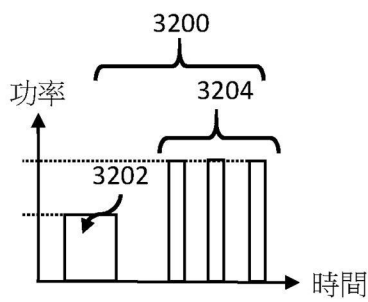


圖38

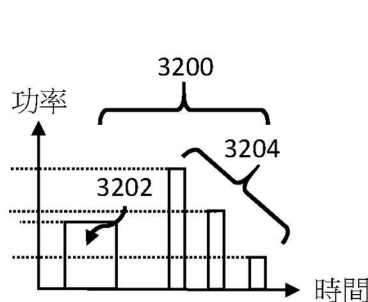


圖39

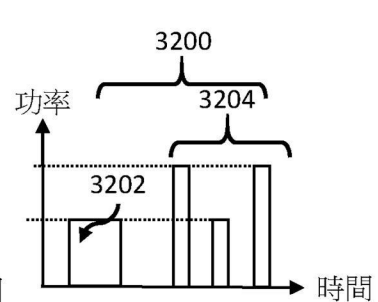


圖40

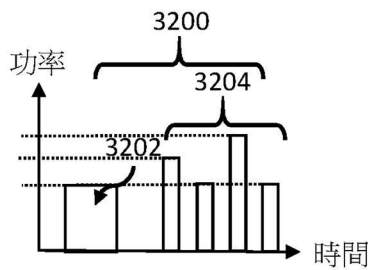


圖41

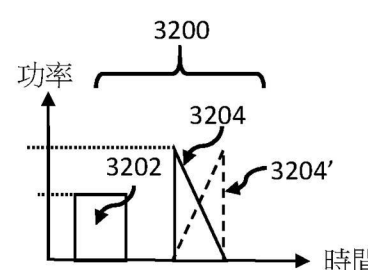


圖42

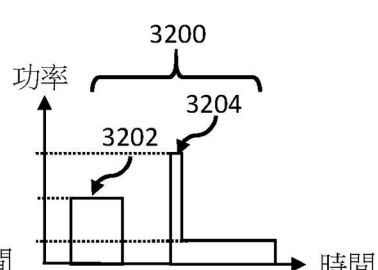


圖43

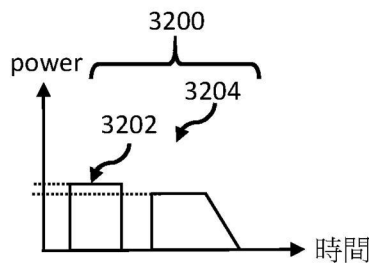


圖44

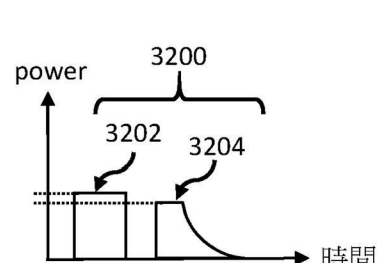


圖45

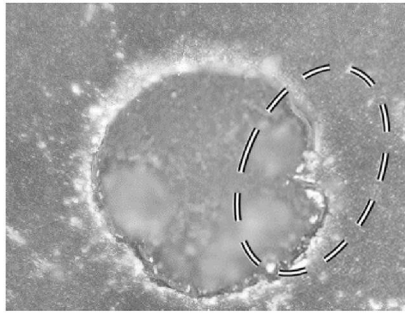


圖46

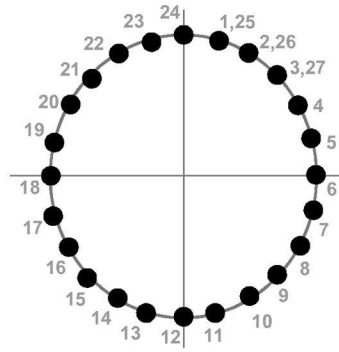


圖47

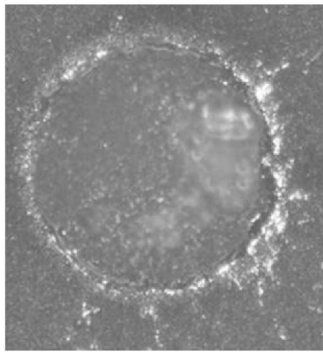


圖48

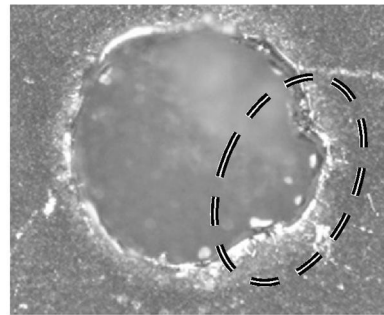


圖49

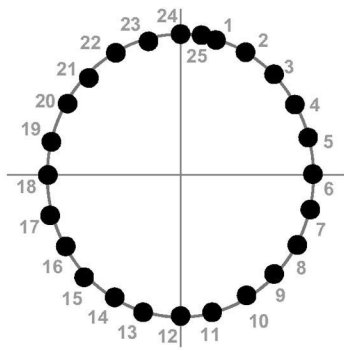


圖50

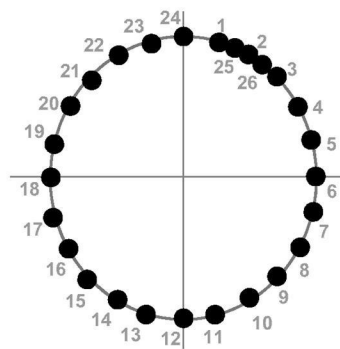


圖51