



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公開本

(11)公開編號：TW 202227873 A

(43)公開日：中華民國 111 (2022) 年 07 月 16 日

(21)申請案號：110144640

(22)申請日：中華民國 110 (2021) 年 11 月 30 日

(51)Int. Cl.：

G02B26/10 (2006.01)**G02B7/10 (2021.01)****B23K26/064 (2014.01)****B23K26/062 (2014.01)****B23K26/04 (2014.01)**

(30)優先權：2020/12/08

美國

63/122,573

(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：布魯克伊塞 詹姆斯 BROOKHYSER, JAMES (US)；克雷能特 傑恩 KLEINERT, JAN (DE)；瑞智特爾 傑瑞德 RICHTER, JERED (US)；昂瑞斯 馬克 UNRATH, MARK (US)

(74)代理人：閻啓泰；林景郁

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：31 項 圖式數：13 共 58 頁

(54)名稱

光學中繼系統以及使用和製造方法

(57)摘要

本發明揭示光學中繼系統之大量具體實例。在一個具體實例中，一雷射加工設備包括光學中繼系統，該光學中繼系統經組態以藉由維持第一定位器與掃描透鏡之間的雷射能量光束之光學路徑長度來校正光束置放誤差。在另一具體實例中，該光學中繼系統可包括第一透鏡、第二透鏡及配置於該第一透鏡與該第二透鏡之間的變焦透鏡組裝件，其中該變焦透鏡組裝件包括第一透鏡群組及第二透鏡群組。該變焦透鏡組裝件可相對於該第一透鏡及該第二透鏡移動（例如，安裝於諸如運動載物台之定位器上）。該第一透鏡群組中之這些透鏡之間的距離及該第二透鏡群組中之這些透鏡之間的距離可為固定的或可變的。

Numerous embodiments of optical relay systems are disclosed. In one embodiment, a laser-processing apparatus includes an optical relay system configured to correct for beam placement errors by maintaining the optical path length of a beam of laser energy between a first positioner and a scan lens. In another embodiment, the optical relay system may include a first lens, a second lens, and a zoom lens assembly arranged between the first lens and the second lens, wherein the zoom lens assembly includes a first lens group and a second lens group. The zoom lens assembly may be movable relative to the first lens and the second lens (e.g., mounted on a positioner, such as a motion stage). The distance between the lenses of the first lens group and the distance between the lenses of the second lens group may be fixed or variable.

指定代表圖：

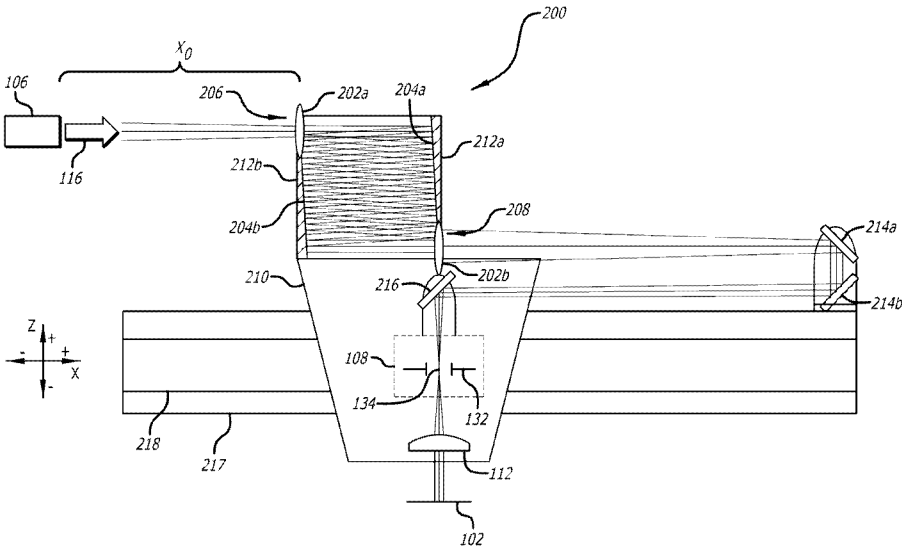


圖7A

符號簡單說明：

- 102:工件
- 106:第一定位器
- 108:第二定位器
- 112:掃描透鏡
- 116:雷射能量光束
- 132:入射光瞳
- 134:樞軸點
- 200:光學中繼系統
- 202a:第一透鏡
- 202b:第二透鏡
- 204a:第一反射表面
- 204b:第二反射表面
- 206:光學輸入
- 208:光學輸出
- 210:托架
- 212a:第一反射器
- 212b:第二反射器
- 214a:鏡
- 214b:鏡
- 216:鏡
- 217:結構
- 218:線性載物台
- X₀:距離

【發明摘要】

【中文發明名稱】 光學中繼系統以及使用和製造方法

【英文發明名稱】 OPTICAL RELAY SYSTEM AND METHODS OF USE
AND MANUFACTURE

【中文】

本發明揭示光學中繼系統之大量具體實例。在一個具體實例中，一雷射加工設備包括光學中繼系統，該光學中繼系統經組態以藉由維持第一定位器與掃描透鏡之間的雷射能量光束之光學路徑長度來校正光束置放誤差。在另一具體實例中，該光學中繼系統可包括第一透鏡、第二透鏡及配置於該第一透鏡與該第二透鏡之間的變焦透鏡組裝件，其中該變焦透鏡組裝件包括第一透鏡群組及第二透鏡群組。該變焦透鏡組裝件可相對於該第一透鏡及該第二透鏡移動（例如，安裝於諸如運動載物台之定位器上）。該第一透鏡群組中之這些透鏡之間的距離及該第二透鏡群組中之這些透鏡之間的距離可為固定的或可變的。

【英文】

Numerous embodiments of optical relay systems are disclosed. In one embodiment, a laser-processing apparatus includes an optical relay system configured to correct for beam placement errors by maintaining the optical path length of a beam of laser energy between a first positioner and a scan lens. In another embodiment, the optical relay system may include a first lens, a second lens, and a zoom lens assembly arranged between the first lens and the second lens, wherein the zoom lens assembly includes a first lens group and a second lens group. The zoom lens assembly may be movable relative to the first lens and the second lens (e.g., mounted on a positioner,

such as a motion stage). The distance between the lenses of the first lens group and the distance between the lenses of the second lens group may be fixed or variable.

【指定代表圖】 圖7A

【代表圖之符號簡單說明】

102:工件

106:第一定位器

108:第二定位器

112:掃描透鏡

116:雷射能量光束

132:入射光瞳

134:樞軸點

200:光學中繼系統

202a:第一透鏡

202b:第二透鏡

204a:第一反射表面

204b:第二反射表面

206:光學輸入

208:光學輸出

210:托架

212a:第一反射器

212b:第二反射器

214a:鏡

214b:鏡

216:鏡

217:結構

218:線性載物台

X₀:距離

【特徵化學式】

無

【發明說明書】

【中文發明名稱】 光學中繼系統以及使用和製造方法

【英文發明名稱】 OPTICAL RELAY SYSTEM AND METHODS OF USE
AND MANUFACTURE

【技術領域】

【0001】 本文中所描述之具體實例通常關於雷射加工設備、光學中繼系統、其組件及操作其之技術。

相關申請之交叉引用

【0002】 本申請案主張 2020 年 12 月 8 日申請之美國臨時申請案第 63/122,573 號之權益，其內容以全文引用的方式併入本文中。

【先前技術】

【0003】 雷射加工系統或設備用於廣泛多種應用，包括印刷電路板（printed circuit board；PCB）機械加工、積層（additive）製造及類似者。許多雷射加工系統包括用於將雷射能量光束聚焦至工件上之掃描透鏡及用於相對於一些待處理材料移動經聚焦雷射能量光束之定位器。在一些雷射加工系統中，掃描透鏡可移動，而定位器保持靜止，因此掃描透鏡與定位器之間的光學路徑長度可根據掃描透鏡之移動而改變。光學路徑長度中之改變可使得雷射能量光束圍繞位於掃描透鏡之入射光瞳（在本文中亦被稱作「掃描透鏡入射光瞳」或更簡單地被稱作「SLEP」）外部的樞軸點旋轉。SLEP 外部之樞軸點的位置可引入遠心誤差，在工件處產生光束畸變，且在掃描透鏡入射光瞳處引起非所要光束剪切。

【發明內容】

【0004】 本發明之一個具體實例可表徵為一種雷射加工設備，其包括：第一定位器，其經組態以使雷射能量光束圍繞樞軸點偏轉；掃描透鏡，其可相對於第一定位器移動；及光學中繼系統，其經組態以對應於掃描透鏡之移動而將樞軸點中繼至掃描透鏡，其中掃描透鏡可相對於光學中繼系統移動。第一定位器可提供為AOD系統或電流計鏡系統。光學中繼系統可相對於掃描透鏡及/或第一定位器移動。光學中繼系統可包括：光學輸入；第一反射器，其具有第一反射表面，其中第一反射器經配置以接收自第一定位器傳播之雷射能量光束；光學輸出；及第二反射器，其具有與第一反射表面相對之第二反射表面，其中第一反射表面及第二反射表面經配置且經組態以將在第一反射器處接收之雷射能量光束自光學輸入中繼至光學輸出。第一反射表面與第二反射表面可實質上彼此平行。第一透鏡可安裝於光學輸入處；且第二透鏡可安裝於光學輸出處。第一定位器（例如，AOD系統及電流計鏡系統）可相對於光學中繼系統移動，且線性運動載物台可耦接至第一定位器，其中載物台可操作以改變第一定位器相對於光學中繼系統之位置。

【0005】 在另一具體實例中，光學中繼系統可包括：第一透鏡，其經配置且經組態以聚焦光學中繼系統內之雷射能量光束；及第二透鏡，其經配置且經組態以聚焦離開光學中繼系統之雷射能量光束，其中第一透鏡及第二透鏡經組態以放大雷射能量光束。第一透鏡可經組態以將雷射能量光束聚焦於與第一反射表面及第二反射表面分離之點處。載物台可耦接至光學中繼系統，其中該載物台可操作以改變光學中繼系統相對於掃描透鏡、第一定位器或其組合之位置。

【0006】 在另一具體實例中，雷射加工設備可進一步包含配置於光學中繼系統與掃描透鏡之間的第二定位器，其中第二定位器可為電流計、AOD系統、快速控制鏡或旋轉多邊形鏡。

【0007】 在另一具體實例中，光學中繼系統可包括：第一透鏡；第二透鏡；

及變焦透鏡組裝件，其配置於第一透鏡與第二透鏡之間，其中變焦透鏡組裝件包括第一透鏡群組及第二透鏡群組，且其中第一透鏡群組及第二透鏡群組中之每一者包括複數個透鏡。第一透鏡群組及第二透鏡群組提供為相對於變焦透鏡組裝件之橫向中心線對稱地配置的攝遠雙合透鏡。變焦透鏡組裝件可相對於第一透鏡及第二透鏡中之至少一者移動（例如，安裝於第一定位器上，諸如運動載物台）。第一透鏡及第二透鏡可提供為正透鏡、平面凸透鏡、雙凸透鏡或正凹凸透鏡或其任何組合。第一透鏡群組中之透鏡之間的距離及第二透鏡群組中之透鏡之間的距離可為固定的或可變的。第一透鏡群組可安裝於第二定位器（例如，運動載物台）上，該第二定位器經組態以調整第一透鏡群組中之透鏡之間的距離。第二透鏡群組可安裝於第三定位器（例如，運動載物台）上，該第三定位器經組態以調整第二透鏡群組中之透鏡之間的距離。

【圖式簡單說明】

【0008】

[圖1]至[圖3]為說明雷射加工系統之各種空間狀態的示意圖。

[圖4]示意性地說明根據一個具體實例之雷射加工設備。

[圖5]及[圖6]展示根據一個具體實例之光學中繼系統的不同位置狀態。

[圖7A]及[圖7B]展示光學中繼系統之另一具體實例的不同位置狀態。在圖7A及圖7B中，光學中繼系統以橫截面正視圖展示。

[圖8]及[圖9]展示光學中繼系統之另一具體實例的不同位置狀態。

[圖10]及[圖11]展示光學中繼系統之另一具體實例的不同位置狀態。

[圖12]展示光學中繼系統之另一具體實例的視圖。

[圖13A]至[圖13C]展示圖12中所展示之光學中繼系統的具體實例之不同位置狀態。

【實施方式】

【0009】 本文中參考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、元件等之大小、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，相同數字通篇指相同元件。因此，可能在參考其他圖式時描述相同或類似數字，即使這些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，並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）具有所屬領域中具通常知識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（the）」意欲亦包括複數形式。應認識到，術語「包含（comprises/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。

【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、量測誤差及類似者，以及所屬領域中具有知識者已知之其他因素。空間相對術語，諸如「下方」、「底下」、「下部」、「上方」及「上部」以及類似者可在本文中為易於描述而用以描述一個元件或特徵與另一

元件或特徵之關係，如圖式中所說明。應認識到，除圖式中所描繪之位向外，空間相對術語意欲涵蓋不同位向。舉例而言，若圖式中之物件翻轉，則描述為「在其他元件或特徵下方」或「在其他元件或特徵底下」之元件將定向為「在其他元件或特徵上方」。因此，例示性術語「下方」可涵蓋上方及下方之位向兩者。物件可以其他方式定向（例如，旋轉90度或處於其他位向），且本文中所使用之空間相對描述詞可相應地進行解譯。

【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，否則這些章節標題不應被理解為限制所描述之標的物。將瞭解，許多不同形式、具體實例及組合係可能的，而不會背離本揭示之精神及教示，且因此本揭示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，使得本公開將為透徹且完整的，且將向所屬領域中具有知識者傳達本發明之範圍。

I. 概述

【0013】 圖1至圖3為說明雷射加工系統之各種空間狀態的示意圖。參考圖1，雷射能量光束10已藉由定位器12偏轉且經由摺疊鏡16朝向掃描透鏡14傳播。儘管未說明，但典型地包括中繼光學器件以將定位器12之樞軸點中繼至掃描透鏡14之入射光瞳18。如所展示，來自定位器12之光束的影像圍繞掃描透鏡14之入射光瞳18處的虛擬樞軸點20樞轉，從而引起離開掃描透鏡14之光線的可接受遠心性。

【0014】 參考圖2，圖1中展示之掃描透鏡14及摺疊鏡16已遠離定位器12移動，從而增大定位器12與掃描透鏡14之間的光學路徑長度。延長光學路徑長度使得虛擬樞軸點20遠離入射光瞳18及掃描透鏡14移動（例如，在此情況下，在摺疊鏡16之表面處或附近）。虛擬樞軸點20遠離掃描透鏡14之此移動引起離開掃描透鏡14之光線的不良遠心性，除其他問題外，其可引起工件處之光點位置中的位置

誤差。

【0015】 參考圖3，圖1中展示之掃描透鏡14及摺疊鏡16已朝向定位器12移動，從而減小定位器12與掃描透鏡14之間的光學路徑長度。縮短光學路徑長度引起虛擬樞軸點20遠離入射光瞳18且朝向掃描透鏡14移動（且在此情況下甚至超出掃描透鏡14）。虛擬樞軸點20朝向掃描透鏡14之此移動引起不良遠心性，其可引起工件處之光點位置中的位置誤差，如上文所論述。虛擬樞軸點20之此移動亦可引起入射光瞳18之非所要光束剪切，由此減小定位器12之有用偏轉範圍。

【0016】 圖4示意性說明根據本發明之一個具體實例之雷射加工設備。

【0017】 參考圖4中所展示之具體實例，用於加工工件102之雷射加工設備100（在本文中亦簡單地被稱作「設備」）可表徵為包括用於產生雷射能量光束之雷射源104、一或多個定位器（例如，第一定位器106、第二定位器108、第三定位器110或其任何組合）及掃描透鏡112。掃描透鏡112及第二定位器108可整合至掃描頭120中，在下文中進一步詳細描述。

【0018】 沿著光束路徑114傳輸通過掃描透鏡112之雷射能量沿著光束軸線118傳播以便經遞送至工件102。沿著光束軸線118傳播之雷射能量可表徵為具有高斯類型空間強度剖面或非高斯類型（亦即，「經塑形」）空間強度剖面（例如，「頂帽型」空間強度剖面）。不管空間強度剖面之類型如何，空間強度剖面亦可表徵為沿著光束軸線118（或光束路徑114）傳播之雷射能量光束的形狀（亦即，橫截面形狀，在本文中亦被稱作「光點形狀」），該形狀可為圓形、橢圓形、正方形、矩形、三角形、六邊形、環形等，或任意形狀。如本文中所使用，術語「光點大小（spot size）」係指在光束軸線118與工件102之待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（亦被稱作「製程光點（process spot）」、「光點位置（spot location）」，或更簡單地被稱作「光點（spot）」）。本文中出於論述之目的，將光點大小量測為自光束軸

線118至光束軸線118處之光學強度下降至光學強度的至少 $1/e^2$ 之位置處的徑向或橫向距離。具體而言，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，光束內之雷射能量可表徵為以介於 $2\text{ }\mu\text{m}$ 至 $200\text{ }\mu\text{m}$ 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 $2\text{ }\mu\text{m}$ 或大於 $200\text{ }\mu\text{m}$ 。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 $2\text{ }\mu\text{m}$ 、 $3\text{ }\mu\text{m}$ 、 $5\text{ }\mu\text{m}$ 、 $7\text{ }\mu\text{m}$ 、 $10\text{ }\mu\text{m}$ 、 $15\text{ }\mu\text{m}$ 、 $30\text{ }\mu\text{m}$ 、 $35\text{ }\mu\text{m}$ 、 $40\text{ }\mu\text{m}$ 、 $45\text{ }\mu\text{m}$ 、 $50\text{ }\mu\text{m}$ 、 $55\text{ }\mu\text{m}$ 、 $80\text{ }\mu\text{m}$ 、 $100\text{ }\mu\text{m}$ 、 $150\text{ }\mu\text{m}$ 、 $200\text{ }\mu\text{m}$ 等或介於此等值中之任一者之間的光點大小。

【0019】 具體而言，前述定位器（例如，第一定位器106，第二定位器108及第三定位器110）經組態以改變光點與工件102之間的相對位置。鑒於以下描述，應認識到，包括第二定位器108為視情況選用的，其限制條件為設備100包括第一定位器106且視情況包括第三定位器110。同樣地，應認識到，包括第三定位器110為視情況選用的，其限制條件為設備100包括第一定位器106且視情況包括第二定位器108。

【0020】 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、光束分離器、孔徑、濾光器、準直儀、透鏡、鏡、稜鏡、偏振器、相位延遲器、繞射光學元件（在此項技術中通常被稱為DOE）、折射光學元件（在此項技術中通常被稱為ROE）或其類似者或其任何組合），以在雷射能量光束沿著光束路徑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、分離、組合、修剪（crop）、吸收或以其他方式修改、調節、引導等。在諸如光束擴展器、透鏡、光束分離器、稜鏡、二向色濾光器、窗、波板、DOE、ROE等光學組件由旨在傳輸入射雷射能量光束之塊狀透明材料（其可視情況塗佈有一或多個抗反射塗層或類似者）形成的限度內，此類光學組件在本文中一般被稱作「傳輸光學組件（transmissive optical component）」。如本文中所使用，定位器及其他光學組件之集合當一起裝配至雷射加工設備100中時可被視

為構成「光束路徑組裝件 (beam path assembly)」。

A. 雷射源

【0021】 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、突發模式雷射或類似者或其任何組合。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)、光束斬波器等) 以在時間上調變自QCW或CW雷射源輸出之雷射輻射光束。儘管未說明，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 (wavelength conversion crystals)」)。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可廣泛地表徵為可操作以產生雷射能量光束，該雷射能量光束可體現為一系列雷射脈衝或連續或準連續雷射光束，該雷射能量光束此後可沿著光束路徑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，可替代地或另外採用連續或準連續光束。

【0022】 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) 範圍中的一或多個波長。電磁波譜之UV範圍中之雷射能量可具有介於10 nm (或上下) 至385 nm (或上下) 範圍內之一或多個波長，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中之雷射能量可具有介於500 nm (或上下) 至560 nm (或上下) 範圍內之一或多個波長，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介於750 nm (或上下) 至15 μ m (或上下) 範圍內之一或多個波長，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。

【0023】 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介於10 fs至900 ms範圍內之脈衝寬度或脈衝持續時間（亦即，基於脈衝中之光學功率對時間的半高寬（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。

【0024】 由雷射源104輸出之雷射脈衝可具有介於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等或介於此等值中之任一者之間的平均功率。

【0025】 雷射脈衝可由雷射源104以介於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等或介於此等值中之任一者之間的脈衝重複率輸出。

【0026】 除波長、平均功率以及當雷射能量光束表現為一系列雷射脈衝時之脈衝持續時間及脈衝重複率之外，遞送至工件102之雷射能量光束之特徵可在於諸如脈衝能量、峰值功率等一或多個其他特性，這些特性可經選擇（例如，視情況基於諸如波長、脈衝持續時間、平均功率及脈衝重複率等一或多個其他特性）而以足以加工工件102（例如，形成一或多個特徵）之光學強度（以 W/cm^2 量測）、通量（以 J/cm^2 量測）等輻照製程光點處的工件102。

【0027】 雷射源104之雷射類型之實例可表徵為氣體雷射（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）、棒狀雷射、纖維雷射、光子晶體棒狀/纖維雷射、被動模式鎖定之固態塊狀或纖維雷射、染料雷射、模式鎖定之二極體雷射、脈衝雷射（例如，ms、ns、ps、fs脈衝雷射）、CW雷射、QCW雷射或類似者或其任何組合。取決於這些雷射之組態，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、脈衝式模式或其任何組合中）操作。可提供為雷射源104之雷射源的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、HIPPO、NAVIGATOR、QUANTA-RAY、QUASAR、SPIRIT、TALON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 μ JEWEL 或 FEMTOLITE 系列雷射；由AMPLITUDE SYSTEMES製造之TANGERINE及SATSUMA系列雷射（及MIKAN及T-PULSE系列振盪器）；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、VLM、VLPN、YLM、YLPF、YLPN、YLPP、YLR、YLS、FLPM、FLPMT、DLM、BLM或DLR系列雷射（例如，包括GPLN-100-M、GPLN-500-QCW、GPLN-500-M、GPLN-500-R、GPLN-2000-S等）或類似者或其任何組合。

B. 第一定位器

【0028】 第一定位器106配置、定位或以其他方式安置於光束路徑114中且可操作以對由雷射源104產生之雷射脈衝進行繞射、反射、折射或類似者或其任何組合（亦即，以使雷射脈衝「偏轉」），以便偏轉或賦予光束路徑114（例如，相對於掃描透鏡112）之移動且因此偏轉或賦予光束軸線118相對於工件102之移動。具體而言，第一定位器106可操作以賦予光束軸線118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。儘管未說明，但X軸（或X方向）

應理解為指正交於所說明之Y及Z軸（或方向）之軸線（或方向）。

【0029】 具體而言，第一定位器106可提供為電流計鏡系統、AO偏轉器（AO deflector；AOD）系統、電光（electro-optic；EO）偏轉器（EO deflector；EOD）系統、快速控制鏡（fast-steering mirror；FSM）系統或類似者或其任何組合。AOD系統之AOD通常包括由諸如以下之材料形成的AO單元：結晶鍺（Ge）、砷化鎵（GaAs）、鉬鉛礦（PbMoO₄）、二氧化碲（TeO₂）、結晶石英、玻璃態SiO₂、三硫化砷（As₂S₃）、鈮酸鋰（LiNbO₃）或類似者或其任何組合。EOD系統之EOD通常包括由鈮酸鋰、鉍鈮酸鉀等形成之EO單元。在AO單元及EO單元經組態以傳輸入射雷射能量光束之限度內，AO及EO單元可被視為傳輸光學組件之類型。

C. 第二定位器

【0030】 第二定位器108安置於光束路徑114中且可操作以對由雷射源104產生且由第一定位器106傳遞之雷射脈衝進行繞射、反射、折射或類似者或其任何組合（亦即，以使雷射脈衝「偏轉」），以便偏轉或賦予光束路徑114（例如，相對於掃描透鏡112）之移動且因此偏轉或賦予光束軸線118相對於工件102之移動。具體而言，第二定位器108可操作以賦予光束軸線118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。

【0031】 鑒於以上內容，應瞭解，第二定位器108可提供為微機電系統（micro-electro-mechanical-system；MEMS）鏡或鏡陣列、AOD系統、電光偏轉器（EOD）系統、快速控制鏡（FSM）元件（例如，併有壓電致動器、電致伸縮致動器、音圈致動器等）、電流計鏡系統、諧振掃描鏡系統、旋轉多邊形掃描儀，或類似者或其任何組合。

【0032】 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組件之雙軸電流計鏡面系統，亦即，經配置以賦予光束軸線118相對於工件102沿著X軸之移動的第一電流計鏡組件（例如，X軸電流計鏡組件），及經配置以賦予

光束軸線118相對於工件102沿著Y軸之移動的第二電流計鏡組件（例如，Y軸電流計鏡組件）。然而，在另一具體實例中，第二定位器108可提供為僅包括單個電流計鏡組件之電流計鏡系統，該單一電流計鏡組件經配置以賦予光束軸線118相對於工件102沿著X及Y軸之移動。在另外其他具體實例中，第二定位器108可提供為旋轉多邊形鏡系統等。因此應瞭解，取決於第二定位器108及第一定位器106之特定組態，第二定位頻寬可大於或等於第一定位頻寬。

D. 第三定位器

【0033】 在所說明之具體實例中，第三定位器110包括一或多個線性載物台（例如，每一者能夠賦予工件102沿著X、Y及/或Z方向之平移移動）、一或多個旋轉載物台（例如，每一者能夠賦予工件102圍繞平行於X、Y及/或Z方向之軸線的旋轉移動）或類似者或其任何組合，這些旋轉載物台經配置且經組態以賦予工件102與掃描透鏡112之間的相對移動，且因此賦予工件102與光束軸線118之間的相對移動。根據本文所描述之具體實例，且儘管未說明，但第三定位器110包括經組態以且適於賦予掃描透鏡112與第一定位器106之間的相對移動之一或多個載物台。

【0034】 鑒於本文中所描述之組態，應認識到，製程光點相對於工件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或掃描透鏡112之移動重疊。

【0035】 在所說明的具體實例中，第三定位器110可操作以移動工件102。然而，在另一具體實例中，第三定位器110經配置且可操作以移動掃描頭120，且視情況，諸如第一定位器106及工件102之一或多個組件可保持靜止。在又一具體實例中，第三定位器110可提供為所謂的「分離軸」定位系統，其中掃描透鏡112及視情況存在之一或多個其他組件（諸如，第一定位器106及第二定位器108）由一或多個線性或旋轉載物台承載（例如，安裝於框、支架等上），且工件102由一

或多個其他線性或旋轉載物台承載。當提供為「分離軸」定位系統時，第三定位器110包括經配置且可操作以移動諸如掃描頭120之一或多個組件的一或多個線性或旋轉載物台及經配置且可操作以移動工件102之一或多個線性或旋轉載物台。舉例而言，第三定位器110可包括用於賦予工件102沿著Y方向之移動的Y載物台及用於賦予掃描頭120沿著X方向之移動的X載物台。可有益地或有利地用於設備100中之分離軸定位系統的一些實例包括以下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。

【0036】 在第三定位器110包括Z載物台之一個具體實例中，Z載物台可配置且經組態以沿著Z方向移動工件102；在此情況下，Z載物台可由用於移動或定位工件102之其他前述載物台中之一或多者承載，可承載用於移動或定位工件102之其他前述載物台中之一或多者或其任何組合。在第三定位器110包括Z載物台之另一具體實例中，Z載物台可配置且經組態以沿著Z方向移動掃描頭；因此，在第三定位器110提供為分離載物台定位系統之情況下，Z載物台可承載X載物台或由X載物台承載。沿著Z方向移動工件102或掃描頭可引起工件102處之光點大小的改變。

【0037】 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等之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（亦即，不具有第三定位器110）。在再一具體實例中，第三定位器110可承載於鉸接式多軸線機器人臂之末端執行器上。

E. 掃描透鏡

【0038】 掃描透鏡112（例如，提供為單透鏡或複合透鏡）通常經組態以聚焦沿著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製程光點處或附近的光束腰。掃描透鏡112可提供為非遠心 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，從而得到沿著光束軸線118彼此移位之複數個製程光點），或類似者或其任何組合。

【0039】 在一個具體實例中，掃描透鏡112經提供作為固定焦距透鏡，且耦接至可操作以移動掃描透鏡112（例如，以便改變光束腰沿著光束軸線118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沿著Z方向線性地平移之音圈（voice coil）。在此情況下，透鏡致動器在此處可被視為前述第三定位器110之組件。另外，固定焦距透鏡可由諸如以下之材料形成：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，變焦透鏡或所謂的「液體透鏡」，併有當前由COGNEX、VARIOPTIC等提供之技術），該可變焦距透鏡能夠致動（例如，經由透鏡致動器）以改變光束軸線118沿著光束腰之位置。改變光束腰沿著光束軸線118之位置可引起工件102處之光點大小的改變。

【0040】 如上文所描述，在一個具體實例中，掃描透鏡112及第二定位器108整合於共同掃描頭120中。因此，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相對於第二定位器108在掃描頭120內之移動）。替代地，透鏡致動器可耦接至掃描頭120且可操作以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）。在任一情況下，透鏡致動器在此處可被視為前述第三定位器110之組件。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

【0041】 一般而言，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、火線（Firewire）、Wi-Fi、RFID、NFC、藍牙、Li-Fi、SERCOS、MARCO、EtherCAT，或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）、夾具等，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。

【0042】 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，以賦予光束軸線與工件之間的相對移動，以便引起製程光點與工件102之間沿著工件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製程光點與工件102之間的相對移動（從而賦予光束軸線與工件之間的「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）以賦予製程光點與工件102之間的相對移動（從而賦予光束軸線與工件之間的「非複合相對移動（non-compound relative movement）」）。

【0043】 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製程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，或類似者或其任何組合），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。

【0044】 一般而言，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。處理器可經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）、特殊應用積體電路（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、分配在處理器中、跨裝置內之處理器或跨裝置之網路並行地進行，或類似者或其任何組合。

【0045】 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，其可由處理器存取（例如，經由一或多個有線或無線通信鏈路）。如本文中所使用，「電腦記憶體」包括磁性媒體（例如，磁帶、硬式磁碟機等）、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。具體而言，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由電腦記憶體傳送之一或多個資料結構中。

【0046】 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）、夾具等。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）、夾具等之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包括以通信方式耦接至控制器122之輸入，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之輸入。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）、夾具等之組件因此回應於由控制器122產生之控制信號。

【0047】 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，該輸入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）、夾具等之組件（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。在此具體實例中，組件特定控制器可以與相對於控制器122所描述之方式類似的方式操作。

【0048】 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）相關聯之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）。

II. 解決樞軸點相對於SLEP之錯位的具體實例

【0049】 如上文所描述之構造，第三定位器110之一或多個組件實現掃描透鏡112相對於第一定位器106之移動。因此，掃描透鏡112與第一定位器106之間的光學路徑長度為可變的。以下為可用於補償掃描透鏡112相對於第一定位器106之移動以確保沿著光束路徑114傳播之雷射能量光束圍繞位於掃描透鏡112之入射光瞳處或至少非常接近該入射光瞳之樞軸點旋轉的例示性具體實例之論

述。

A. 具體實例1:致動器驅動之第一定位器

【0050】 圖5及圖6展示致動器驅動之第一定位器106之具體實例。如圖5中所展示，第一定位器106耦接至致動器150（例如，線性運動載物台），且固定中繼光學器件126在第一定位器106與掃描透鏡112之間的位置處配置於光束路徑114內。在掃描透鏡112耦接至第三定位器110之一或多個致動器（例如，耦接至可操作以沿著X、Y及/或Z方向中之任一者移動掃描透鏡112之一或多個線性致動器）的具體實例中，致動器150並非第三定位器110之一部分。然而，致動器150經配置且可操作以使第一定位器106在對應於如由第三定位器110賦予之掃描透鏡112之移動方向的方向上移動。如將瞭解，致動器150可操作（例如，回應於由控制器122輸出之一或多個命令）以移動第一定位器106，以便在掃描透鏡112移動（例如，如圖6中所展示）時維持第一定位器106與掃描透鏡112之入射光瞳132之間的恆定（或至少實質上恆定）光學路徑長度。維持光學路徑長度確保雷射能量光束116在被引導朝向工件102時具有可接受的遠心性。儘管圖6展示朝向固定中繼光學器件126移動之掃描透鏡112，但應瞭解，掃描透鏡112可遠離固定中繼光學器件126移動，因此致動器150可朝向固定中繼光學器件126移動第一定位器106，以便維持第一定位器106與入射光瞳132之間的恆定光學路徑長度。

【0051】 在操作期間，致動器150可使第一定位器106移動等於或不同於掃描透鏡112移動所橫跨之距離的量。舉例而言，在一個具體實例中，固定中繼光學器件126具有等於（或至少實質上等於）1之放大率M，使得第一定位器106必須沿著光束路徑遠離固定中繼光學器件126移動以將樞軸點134重新定位於入射光瞳132之中心處的距離等於（或至少實質上等於）樞軸點134沿光束路徑移動之距離。在另一實例具體實例中，固定中繼光學器件126具有大於1之放大率M，使得第一定位器106必須沿著光束路徑遠離固定中繼光學器件126移動以將樞軸點

134重新定位於入射光瞳132之中心處的距離小於樞軸點134沿著光束路徑移動之距離。舉例而言，在一個具體實例中，固定中繼光學件126可具有等於（或至少實質上等於）2之放大率 M ，因此，若掃描透鏡112沿著光束路徑114朝向固定中繼光學器件126移動100 mm，則致動器150僅需要沿著光束路徑114移動第一定位器106 25 mm之距離（亦即， $100 \text{ mm}/M^2 = 25 \text{ mm}$ ）。應瞭解，固定中繼光學器件126之放大率可以任何其他所要或有益的方式調整。

【0052】 圖5及圖6說明致動器150沿著不同於掃描透鏡112可移動之方向的方向移動第一定位器106的組態。然而，應瞭解，致動器150可沿著一方向或任何其他方向移動第一定位器106，其限制條件為例如一或多個鏡配置於光束路徑內以將光束路徑114自第一定位器106充分中繼至掃描透鏡112。

B. 具體實例2：可移動光學中繼系統

【0053】 如上文所論述，光學中繼系統可操作以將第一定位器106之影像定位於掃描透鏡112之入射光瞳132處，從而使沿著光束路徑114傳播之雷射能量光束116圍繞位於掃描透鏡112之入射光瞳132處或至少非常接近該入射光瞳之樞軸點134旋轉。掃描透鏡112相對於第一定位器106（或第二定位器108）之移動可引起第一定位器106之影像遠離入射光瞳132的錯位。在一個具體實例中，光學中繼系統200可與掃描透鏡112之移動同步地移動，從而維持樞軸點134在入射光瞳132處之位置，從而使得雷射能量光束116在被引導朝向工件102時具有可接受的遠心性。

【0054】 圖7A及7B展示可移動光學中繼系統之具體實例的兩個空間狀態，該可移動光學中繼系統包括：光學中繼200，其經配置以與第一定位器106光通信且安裝於第三定位器110之組件（例如，如所說明，可操作以沿著X軸移動光學中繼200之線性載物台218）上；及複數個鏡（例如，鏡214a、214b及216）。光學中繼200安裝至托架210，托架210繼而可由線性載物台218移動（例如，回應

於由控制器122輸出之一或多個命令)。同樣地，鏡216、第二定位器108及掃描透鏡112與光學中繼200一起安裝於線性載物台218之托架210上。線性載物台218可安裝至結構217，諸如雷射加工設備100之框架或支架。在另一具體實例中，光學中繼200可安裝至輔助載物台（圖中未示）而非載物台218。在使用期間，輔助載物台可對應於由線性載物台218賦予至第二定位器108及掃描透鏡112的運動而定位光學中繼200。鏡214a及214b（例如，摺疊鏡）安裝至結構217。因此，線性載物台218可相對於第一定位器106及鏡214a及214b移動第二定位器108及掃描透鏡112以及光學中繼200及鏡216。如所說明，鏡214a、214b及216經配置以將光學中繼200置放成與掃描透鏡112光通信。

【0055】 光學中繼200進一步包括光學輸入206、光學輸出208、具有第一反射表面204a之第一反射器212a及具有第二反射表面204b之第二反射器212b。光學中繼200進一步包括安裝於光學輸入206中之第一透鏡202a及安裝於光學輸出208中之第二透鏡202b。

【0056】 在所說明之具體實例中，第一反射表面204a與第二反射表面204b彼此平行（或至少實質上彼此平行）。應瞭解，第一反射表面204a與第二反射表面204b可不彼此平行。基於上文所描述之構造，雷射能量光束116經由第一透鏡202a進入光學輸入206，且入射於其於此處反射至第二反射表面204b之第一反射表面204a上。雷射能量光束116在反射表面204a、204b之間來回反射多次，直至其經由光學輸出208離開光學中繼200為止。反射表面204a與204b之間的光學路徑之摺疊使得光學中繼200能夠足夠緊湊以安裝至托架210。在經由第二透鏡202b離開光學輸出208之後，雷射能量光束116傳播至鏡214a。雷射能量光束116自鏡214a反射至鏡面214b，在該鏡214b處，雷射能量光束接著反射至經配置以將雷射能量光束116反射至掃描透鏡112（例如，經由第二定位器108）的鏡216。在所說明之具體實例中，第二定位器108提供為雙軸電流計鏡系統，且掃描透鏡112

之入射光瞳132位於其X及Y軸電流計鏡組件之間。在設備100之某些操作條件下，雷射能量光束116之功率足夠高以在直接聚焦於反射表面204a及204b上之情況下引起對其之損壞。為了避免此情形，在所說明之具體實例中，第一透鏡202a經組態以將雷射能量光束116聚焦於第一反射表面204a與第二反射表面204b之間的一點處（例如，標稱地為反射表面204a與204b之間的半途），從而減小表面204a及204b處之雷射通量足以避免對其之損壞。

【0057】 具體而言，光學中繼200可經組態以將放大率賦予至雷射能量光束116，以便補償因光學路徑摺疊成2個或更多個支路所引起之光學路徑長度的改變（例如，視設備100之組態而定），以便保持樞軸點134位於掃描透鏡入射光瞳132處或附近。

【0058】 在一實例具體實例中，參考圖7A，光學輸入206位於距第一定位器106距離 X_0 處。如圖7B中所展示，光學輸入206經重新定位成距第一定位器106距離 X_1 ，其已移動 $D = X_1 - X_0$ 之距離（例如，在線性載物台218之操作後）。當光學中繼200在+X方向上移動時，光學輸出208與掃描透鏡112之間的距離改變2倍，因為雷射能量光束116由鏡214a及214b摺疊成兩個支路。因而，效應為第一定位器106之影像已遠離掃描透鏡112移動距離 $2 * D$ ，從而潛在地使中繼樞軸點134移出入射光瞳132，此將引起引導至工件102之光束中的遠心誤差。為了考量此情形，在此具體實例中，透鏡202a及202b可將 $M = \sqrt{2} = 1.414$ 之橫向放大率賦予至雷射能量光束116，使得離開光學輸出208之光束的寬度為進入光學輸入206之光束之寬度的1.414倍。所得縱向放大率為 $M^2 = 2$ ，使得中繼樞軸點134移動 $2 * D$ 之距離，從而當掃描透鏡112及光學中繼200藉由線性載物台218移動時，在入射光瞳132處維持中繼樞軸點134之位置以及雷射能量光束116之光束大小。

【0059】 在另一實例具體實例中，光徑可摺疊成三個支路，使得當光學輸入206重新定位至距第一定位器106距離 X_1 時，其已移動 $D = X_1 - X_0$ 之距離（例

如，在線性載物台218之操作後)。當光學中繼200在+X方向上移動時，光學輸出208與掃描透鏡112之間的距離將改變3倍，因為雷射能量光束116摺疊成三個支路。因而，效應為第一定位器106之影像已遠離掃描透鏡112移動距離 $3*D$ 。為了考量此情形，在此具體實例中，透鏡202a及202b可將 $M = \sqrt{3} = 1.732$ 之橫向放大率賦予至雷射能量光束116，使得離開光學輸出208之光束的寬度為進入光學輸入206之光束之寬度的1.732倍。所得縱向放大率為 $M^2 = 3$ ，使得中繼樞軸點134移動 $3*D$ 之距離，從而當掃描透鏡112及光學中繼200藉由線性載物台218移動時，在入射光瞳132處維持中繼樞軸點134之位置以及雷射能量光束116之光束大小。應瞭解，在設備100之其他可能配置中，中繼200之間的光學路徑可摺疊為超過三個支路，且透鏡202a及202b可經組態以將適當放大率賦予至雷射能量光束116，以補償此且將樞軸點134維持在入射光瞳132處或附近。

【0060】 儘管第二定位器108在圖7A及圖7B中說明為與入射光瞳132重疊，但應瞭解，第二定位器108可替代地定位以免與入射光瞳132重疊。舉例而言，圖7A及7B中所展示之鏡216可用第二定位器108代替。

C. 具體實例3：具有復歸反射器之光學延遲線

【0061】 圖8及圖9展示經提供為併有復歸反射器之光學延遲線(諸如光學延遲線300)的光學中繼系統之位置狀態。光學延遲線300自第一定位器106接收雷射能量光束116且經由摺疊鏡130將其中繼至掃描透鏡112。應瞭解，摺疊鏡130為視情況選用的，且若雷射加工設備100之一或多個其他組件(例如，第一定位器106、第二定位器108、掃描透鏡112、光學延遲線300或類似者或其任何組合)的位向經修改以確保雷射能量光束116自第一定位器106傳播至掃描透鏡112，則可省略。雷射能量光束116由此經引導至掃描透鏡112之入射光瞳132處或附近的中繼樞軸點134。

【0062】 具體而言，光學延遲線300包括運動系統308(例如，線性載物台)、

復歸反射器310、中繼反射器320及延遲線主體302。運動系統308、復歸反射器310及中繼反射器320安裝於延遲線主體302上，且復歸反射器310可藉由運動系統308相對於中繼反射器320移動。在一個具體實例中，光學延遲線300安裝於雷射加工設備100內以便在位置上相對於第一定位器106固定，且掃描透鏡112可相對於光學延遲線300移動。在另一具體實例中，光學延遲線300可相對於第一定位器106移動，且可在位置上相對於掃描透鏡112固定。舉例而言，光學延遲線300可耦接至第三定位器110之一或多個致動器（例如，耦接至可操作以沿著X、Y及/或Z方向中之任一者移動掃描透鏡112的一或多個線性致動器）。在另一具體實例中，光學延遲線300可相對於第一定位器106及掃描透鏡112移動。

【0063】 在所說明之具體實例中，復歸反射器310為包括通常正交於彼此定向之第一反射表面314、第二反射表面316及第三反射表面318的角形反射器（亦稱為直角稜鏡）。在另一具體實例中，復歸反射器310無需具有第三反射表面318。在其他具體實例中，復歸反射器310亦可提供為一對鏡或球面復歸反射器。所屬領域中具通常知識者應瞭解，任何多種復歸反射器可用於光學延遲線300中。在所說明之具體實例中，當復歸反射器310具備三個反射表面314、316及318時，傳播至復歸反射器310之光束及自復歸反射器310傳播之光束保持平行，而不管光束至復歸反射器310之反射表面的位向如何。

【0064】 中繼反射器320經組態以將雷射能量光束116反射至復歸反射器310且將自復歸反射器310返回之雷射能量光束反射至掃描透鏡112。在所說明之具體實例中，中繼器反射器320包括附接至中繼器反射器主體322或形成於中繼器反射器主體322上之第一反射表面324及第二反射表面326。在所說明之具體實例中，第一反射表面324及第二反射表面326彼此正交地定向。在另一具體實例中，第一反射表面324及第二反射表面326可不彼此正交地定向。在另一具體實例中，中繼反射器320可提供為安裝至中繼反射器主體322之兩個鏡。應瞭解，任何

多種光學器件或光學表面可安裝至中繼反射器主體322或形成於中繼反射器主體322上。

【0065】 在掃描透鏡112可相對於光學延遲線300移動（例如，光學延遲線300安裝於雷射加工設備100內，以便在位置上相對於第一定位器106固定）之具體實例中，當掃描透鏡112相對於第一定位器106（例如，在+X方向上）移動時，復歸反射器310相對於中繼反射器320（例如，在-Z方向上）移動。因此，維持掃描透鏡112與第一定位器106之間的光學路徑長度，使得當掃描透鏡112移動時，雷射能量光束116之樞軸點134保持位於掃描透鏡112之入射光瞳132處或附近。舉例而言，參考圖8及圖9，在使用期間，掃描透鏡112在+X方向上自相對於光學延遲線300之距離 X_0 （如8圖中所展示）移動至相對於延遲線300之距離 X_1 （如圖9中所展示），改變為 $\Delta X = X_1 - X_0$ 。與掃描透鏡112之移動同步，復歸反射器310在-Z方向上自相對於中繼反射器320之距離 Z_0 （如圖8中所展示）移動至相對於中繼反射器320之距離 Z_1 （如圖9中所展示），位置之改變為 $\Delta Z = Z_0 - Z_1$ 。在此具體實例中， $\Delta X \approx 2\Delta Z$ 。由於光學路徑在Z方向上由光學延遲線300摺疊成兩個支路，因此當 $\Delta X \approx 2\Delta Z$ 時，保持自第一定位器106至掃描透鏡112之原始光學路徑長度。

【0066】 在光學延遲線300可相對於第一定位器106移動（例如，藉由掃描透鏡112）或自身可相對於掃描透鏡112移動之具體實例中，當光學延遲線300相對於第一定位器106（或相對於掃描透鏡112）（例如，在+X方向上）移動時，復歸反射器310可相對於中繼反射器320（例如，在-Z方向上）移動。因此，維持掃描透鏡112與第一定位器106之間的光學路徑長度，使得當掃描透鏡112移動時，雷射能量光束116之樞軸點134保持位於掃描透鏡112之入射光瞳132處或附近。舉例而言，參考圖8及圖9，在使用期間，光學延遲線300在+X方向上自相對於第一定位器106之距離 X_2 移動至相對於第一定位器106之距離 X_3 ，改變為 $\Delta X = X_3 - X_2$ 。與光學延遲線300在+X方向上之移動同步，復歸反射器310在-Z方向上自相

對於中繼反射器320之距離 Z_0 （如圖8中所展示）移動至相對於中繼反射器320之距離 Z_1 （如圖9中所展示），位置之改變為 $\Delta Z = Z_0 - Z_1$ 。在此具體實例中， $\Delta X \approx 2\Delta Z$ 。由於光學路徑在Z方向上由光學延遲線300摺疊成兩個支路，因此當 $\Delta X \approx 2\Delta Z$ 時，保持自第一定位器106至掃描透鏡112之原始光學路徑長度。

【0067】 應瞭解，光學延遲線300可經組態以將第一定位器106與掃描透鏡112之間的光學路徑摺疊成任何數目個支路，且因而可提供 ΔX 與 ΔZ 之間的任何比率。舉例而言，光學延遲線300可包括兩個子延遲線（圖中未示），各自將光學路徑摺疊兩次，以使得 $\Delta X = 4\Delta Z$ 之比率將保持光學路徑長度。此外，可提供任何數目個光學中繼線或子系統以按任何多個所要或有益方式保持光學路徑長度。

【0068】 儘管第二定位器108在圖8及圖9中說明為與入射光瞳132重疊（例如，如上文相對於圖7A及圖7B所論述），但應瞭解，第二定位器108可替代地定位以免與入射光瞳132重疊。舉例而言，摺疊鏡130可用第二定位器108代替。在操作期間，以與上文所描述之具體實例類似之方式，可沿著X方向掃描第二定位器108及掃描透鏡112，且可藉由使復歸反射器310相對於中繼器反射器320同步地移動而保持光學路徑長度。

【0069】 應瞭解，X、Y或Z方向任意地用於此具體實例之描述中。舉例而言，光學延遲線300可經定向以使得復歸反射器310與中繼反射器320之間的位置改變亦在X方向上。復歸反射器310與中繼反射器320之間的距離改變之絕對值（且對應地，光學延遲線300與掃描透鏡112之間的距離改變之絕對值）為引起光學路徑長度守恆之原因。此對於下文描述之其他具體實例亦成立。

D. 具體實例4：具有偏振光束分離器之光學延遲線

【0070】 圖10及圖11展示經提供為併有偏振光束分離器之光學延遲線（諸如光學延遲線400）的光學中繼系統之位置狀態。光學延遲線400自第一定位器

106接收雷射能量光束116且經由摺疊鏡130將其中繼至掃描透鏡112。在此具體實例中，最初傳輸至光學延遲線400之雷射能量光束116經線性偏振。應瞭解，摺疊鏡130為視情況選用的，且若雷射加工設備100之一或多個其他組件（例如，第一定位器106、第二定位器108、掃描透鏡112、光學延遲線400或類似者或其任何組合）的位向經修改以確保雷射能量光束116自第一定位器106傳播至掃描透鏡112，則可省略。雷射能量光束116由此經引導至掃描透鏡112之入射光瞳132處或附近的中繼樞軸點134。

【0071】 具體而言，光學延遲線400包括偏振光束分離器430、延遲器412、反射器410、運動系統408（例如，線性載物台）及延遲線主體402。偏振光束分離器430、延遲器412（例如，四分之一波板）及運動系統408安裝於延遲線主體402上，且反射器410可藉由運動系統408移動。光學延遲線400可安裝於雷射加工設備100內以便在位置上相對於第一定位器106及掃描透鏡112固定，或可相對於第一定位器106及/或掃描透鏡112移動（例如，如上文相對於光學延遲線300所論述）。

【0072】 延遲器412配置於偏振光束分離器430與反射器410之間，且經組態以更改傳輸通過其之雷射能量光束之偏振（例如，自線性偏振更改為圓形偏振，或反之亦然）。反射器410經配置且經組態以將入射雷射能量光束116反射回至偏振光束分離器430。因此，自偏振光束分離器430傳播之雷射能量光束116的偏振在延遲器412處自線性偏振轉換成圓偏振，且自反射器410傳播之雷射能量光束116的偏振在延遲器412處自圓偏振轉換成線性偏振。然而，在此情況下，反射回至偏振光束分離器430（亦即，自延遲器412）之雷射能量光束116之偏振方向相對於自偏振光束分離器430傳播（亦即，至延遲器412）之雷射能量光束116之偏振方向旋轉90度。因此，反射回至偏振光束分離器430之雷射能量光束116係由偏振光束分離器430反射至掃描透鏡112（例如，經由摺疊鏡130）。

【0073】 反射器410安裝於附接至延遲線主體402之運動系統408上，該延遲線主體經組態以改變反射器410相對於偏振光束分離器430之位置。視情況，偏振光束分離器430可安裝於運動系統408上，使得偏振光束分離器430之位置相對於反射器410改變。

【0074】 在掃描透鏡112可相對於光學延遲線400移動（例如，光學延遲線400安裝於雷射加工設備100內，以便在位置上相對於第一定位器106固定）之具體實例中，當掃描透鏡112相對於第一定位器106（例如，在+X方向上）移動時，反射器410相對於偏振光束分離器430（例如，在+Z方向上）移動。因此，維持掃描透鏡112與第一定位器106之間的光學路徑長度，使得當掃描透鏡112移動時，雷射能量光束之樞軸點134保持位於掃描透鏡112之入射光瞳132處或附近。舉例而言，參考圖10及圖11，在使用期間，掃描透鏡112在+X方向上自相對於光學延遲線400之距離 X_0 （如圖10中所展示）移動至相對於延遲線400之距離 X_1 （如圖11中所展示），改變為 $\Delta X = X_1 - X_0$ 。與掃描透鏡112之移動同步，反射器410在+Z方向上自相對於偏振光束分離器430之距離 Z_0 （如圖10中所展示）移動至相對於偏振光束分離器430之距離 Z_1 （如圖11中所展示），位置之改變為 $\Delta Z = Z_1 - Z_0$ 。在此具體實例中， $\Delta X \approx 2\Delta Z$ 。由於光學路徑在Z方向上由光學延遲線400摺疊成兩個支路，因此當 $\Delta X \approx 2\Delta Z$ 時，保持自第一定位器106至掃描透鏡112之原始光學路徑長度。

【0075】 應瞭解，光學延遲線400可經組態以將第一定位器106與掃描透鏡112之間的光學路徑摺疊成任何數目個支路（例如，以提供 ΔX 與 ΔZ 之間的任何比率）。舉例而言，光學延遲線400可包括兩個子延遲線（圖中未示），各自將光學路徑摺疊成兩個支路，以使得 $\Delta X = 4\Delta Z$ 之比率將保持光學路徑長度。可提供任何數目個光學中繼系統或子系統以按任何多個所要或有益方式保持光學路徑長度。

【0076】 在上文所論述之具體實例中，反射器410提供為零相移反射器。然而，在另一具體實例中，反射器410可提供為反射相位延遲器，諸如經組態以在將雷射能量光束116反射回至偏振光束分離器430後旋轉雷射能量光束116之偏振方向的半波反射相位延遲器。在此狀況下，不需要延遲器412。若雷射能量光束在電磁波譜之UV、中波長紅外線或長波長紅外線範圍中，則可能需要使用半波片反射相位延遲器。

【0077】 儘管第二定位器108在圖10及圖11中說明為與入射光瞳132重疊（例如，如上文相對於圖7A及圖7B所論述），但應瞭解，第二定位器108可替代地定位以免與入射光瞳132重疊。舉例而言，摺疊鏡130可用第二定位器108代替。在操作期間，以類似於上文所描述之具體實例的方式，可在X方向上掃描第二定位器108及掃描透鏡112，且可藉由相對於偏振光束分離器430同步地移動反射器410來保持光學路徑長度。

E. 具體實例5：變焦光學中繼系統

【0078】 如上文所論述，光學中繼系統之一些具體實例可具有固定放大率，該固定放大率可操作以在工件之表面處達成目標光點大小，同時確保沿著光束路徑114傳播之雷射能量光束116圍繞位於掃描透鏡112之入射光瞳132處或非常接近該入射光瞳132之樞軸點134旋轉。然而，根據其他具體實例，可提供光學中繼系統，這些光學中繼系統可操作以將光束之樞軸點134中繼至掃描透鏡112之入射光瞳132且改變雷射能量光束之放大率（例如，以調整或維持工件102處之雷射光點大小）。以下為能夠改變放大率、準直光束輸出及恆定樞軸點位置之此光學中繼系統之例示性具體實例的論述。此光學中繼系統可以光學方式置放於系統中之定位器中的一或多者下游（例如，在第一定位器106或第二定位器108之後）。

【0079】 圖12展示經組態以將第一定位器106（或第二定位器108）之影像

(焦平面)中繼至掃描透鏡112之入射光瞳132的光學中繼系統500之實例具體實例。在此具體實例中，光學中繼系統500之位置相對於第一定位器106(或第二定位器108)及掃描透鏡112固定。視情況，如下文所描述，光學中繼系統500(或其組件)之位置可相對於第一定位器106、第二定位器108及/或掃描透鏡112調整。

【0080】 如所展示，中繼系統500可包括第一透鏡502、變焦透鏡組裝件510及第二透鏡506。可操作以限制進入變焦透鏡組裝件510之光(例如，以允許繞射階分離，或另外限制由第一定位器106繞射之雷射能量光束116(及其邊緣光線116')或由第二定位器108反射之雷射能量光束116的角度範圍)的孔徑504可定位於第一透鏡502與變焦透鏡組裝件510之間。在所說明之具體實例中，變焦透鏡組裝件510位於第一透鏡502與第二透鏡506之間。儘管透鏡502及506在圖12中展示為雙凸透鏡，但視設備100之操作要求而定，可使用多種正透鏡(例如，平面凸透鏡、正凹凸透鏡、正消色差透鏡、非球面透鏡及類似者，或以雙合透鏡、三合透鏡或其任何組合配置)。

【0081】 在此具體實例中，變焦透鏡組裝件510包括第一透鏡群組516及第二透鏡群組522。第一透鏡群組516與第二透鏡群組522分離固定距離C。第一透鏡群組516包括第一透鏡512及第二透鏡514，且第二透鏡群組522包括第一透鏡518及第二透鏡520。在圖12中所展示之具體實例中，第一透鏡群組516及第二透鏡群組522可提供為相對於變焦透鏡組裝件510之橫向中心線530對稱地配置之攝遠雙合透鏡。在此具體實例中，在第一透鏡群組516中，第一透鏡512為平凹透鏡且第二透鏡514為雙凸透鏡，且透鏡512及514分離距離A。在第二透鏡群組中，透鏡518為雙凸透鏡且第二透鏡520為平凹透鏡，且透鏡518及520分離距離B且相對於第一透鏡群組516之平凹透鏡512及雙凸透鏡514以鏡像對稱地配置。距離A可藉由所屬領域中已知之任何合適或所要方式來調整(在本文中亦被稱作「第一透鏡群組516之調整」)。同樣地，距離B可藉由所屬領域中已知之任何合適或所

要方式來調整（在本文中亦被稱作「第二透鏡群組522之調整」）。

【0082】 為了調整光學中繼系統500之放大率（在本文中亦被稱作「放大率設定點」），以便設定或調整雷射能量光束116之雷射光點大小，可設定或調整光學中繼系統500內之變焦透鏡組裝件510之位置。變焦透鏡組裝件510之位置可手動設定（例如，由設備100之製造商、由設備100之使用者或其他操作員、由負責開發用於加工工件102之製程或配方的應用工程師或技術員或類似者或其任何組合），且接著將其固定在適當位置。在另一具體實例中，變焦透鏡組裝件510可安裝於第一定位器524（例如線性載物台、音圈、光學座架等）上，該第一定位器524可操作以改變光學中繼系統500內之變焦透鏡組裝件510之位置（例如，回應於來自控制器122之一或多個命令）。

【0083】 類似於光學中繼系統500內之變焦透鏡組裝件510之位置的調整，第一透鏡群組516及第二透鏡群組522之調整可手動地或藉由將第一透鏡群組516及第二透鏡群組522分別安裝於第二定位器526及第三定位器528上來進行。在此具體實例中，當設定光學中繼系統500之放大率設定點時，可能需要調整第一透鏡群組516及第二透鏡群組522以實現第一透鏡群組516與第二透鏡群組522之間的雷射能量光束116之準直，從而在透鏡群組516與522之間產生樞軸點。此外，可能需要調整第一透鏡群組516及第二透鏡群組522以在第二透鏡506之後實現雷射能量光束116之準直，從而將樞軸點134定位於掃描透鏡入射光瞳132處。亦可視需要進行第一透鏡群組516及第二透鏡群組522之調整以調整整個光學中繼系統500之有效焦距，從而將樞軸點134之位置維持在掃描透鏡入射光瞳132處或接近掃描透鏡入射光瞳132。第一透鏡群組516及第二透鏡群組522之調整可與光學中繼系統500內之變焦透鏡組裝件510的位置之調整同步地或依序地（以任何次序）進行，或藉由迭代過程進行。

【0084】 視設備100之光學效能要求而定，可使用變焦透鏡組零件510之替

代具體實例。舉例而言，在一個替代具體實例中，第一透鏡群組516與第二透鏡群組522之間の間距C亦可為可調整的而非固定的。在另一具體實例中，第一透鏡群組516及第二透鏡群組522可包括正透鏡（例如，平面凸透鏡、正凹凸透鏡、正消色差透鏡、非球面透鏡及類似者，以雙合透鏡、三合透鏡或其任何組合配置）與負透鏡（例如，雙凹透鏡、平凹透鏡、負凹凸透鏡、負消色差透鏡及類似者，以雙合透鏡、三合透鏡或其任何組合配置）之以任何次序或間距之各種組合。

【0085】 如上文所描述，當調整光學中繼系統500之放大率設定點（例如，以調整或維持工件102處之雷射光點大小）時，可能需要調整第一透鏡群組516及第二透鏡群組522。圖13A至圖13C展示光學中繼系統500之各種位置狀態，其表明放大率設定點之改變對雷射光點大小及樞軸點134之位置的影響之實例，以及第一透鏡群組516及第二透鏡群組522之調整如何可以調整樞軸點134之位置。

【0086】 圖13A展示光學中繼系統500，其定位於第一定位器106（或第二定位器108）與掃描透鏡112之間，使得當掃描雷射能量光束116（例如，如由第一定位器106繞射或由第二定位器108反射）時，樞軸點134位於掃描透鏡112之入射光瞳132處或附近。如所展示，光學中繼系統500包括定位於第一透鏡502與第二透鏡506之間的變焦透鏡組裝件510。第一透鏡群組516之透鏡分離距離A，且第二透鏡群組522之透鏡分離距離B。在此具體實例中，第一透鏡群組516與第二透鏡群組522之間的距離C固定。具有直徑 D_0 之雷射光點532經展示為在第一定位器106下方（例如，在第一定位器106之影像平面處）。具有直徑 D_1 之雷射光點532'（例如，如由光學中繼系統500放大）展示於入射光瞳132下方。在此位置狀態中，設定光學中繼系統500之放大率設定點，使得雷射光點532經歷自 D_0 之直徑（例如， $30\mu\text{m}$ ）至 $D_1 = 1.414 * D_0 = 42\mu\text{m}$ 之直徑的M（例如，1.414）倍之橫向放大率。

【0087】 圖13B展示當光學中繼系統500之放大率設定點已藉由朝向第一透鏡502移動變焦透鏡組裝件510（例如，藉由圖12中所展示之第一定位器524之

致動)來調整時,圖13A中所展示之位置狀態之改變的實例。在此實例中,放大率設定點M自1.414改變為1.50,從而使得雷射光點532之直徑 D_0 (例如, $30\mu\text{m}$)經歷橫向放大率至 $D_2 = 1.50 * D_0 = 45\mu\text{m}$ 。放大率設定點中之此改變使得第一定位器106之影像平面的縱向放大率改變,從而引起樞軸點134與入射光瞳132之錯位。

【0088】 圖13C展示圖13B中所展示之光學中繼系統500之位置狀態的改變之實例。如所展示,第一透鏡群組516之間距A(例如,藉由圖12中所展示之第二定位器526的致動)調整為間距A',且第二透鏡群組522(例如,藉由圖12中所展示之第三定位器528的致動)之間距B調整為間距B'。此等調整引起縱向放大率之改變以將樞軸點134重新定位於入射光瞳132處,同時將雷射光點532之橫向放大率維持在 $45\mu\text{m}$ 。

III. 結論

【0089】 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。儘管已參考圖式描述幾個特定具體實例及實例,所屬領域中具知識者將易於瞭解,對所揭示具體實例及實例以及其他具體實例之諸多修改在不顯著背離本發明之新穎教示及優點之情況下為可能的。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之本發明的範圍內。舉例而言,所屬領域中具有通常知識者應瞭解,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,且申請專利範圍之等效物包括於本發明之範圍中。

【符號說明】

【0090】

10:雷射能量光束
12:定位器
14:掃描透鏡
16:摺疊鏡
18:入射光瞳
20:虛擬樞軸點
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:雷射能量光束
116':邊緣光線
118:光束軸線
120:掃描頭
122:控制器
126:固定中繼光學器件
130:摺疊鏡
132:入射光瞳
134:樞軸點
150:致動器

200:光學中繼系統
202a:第一透鏡
202b:第二透鏡
204a:第一反射表面
204b:第二反射表面
206:光學輸入
208:光學輸出
210:托架
212a:第一反射器
212b:第二反射器
214a:鏡
214b:鏡
216:鏡
217:結構
218:線性載物台
300:光學延遲線
302:延遲線主體
308:運動系統
310:復歸反射器
314:第一反射表面
316:第二反射表面
318:第三反射表面
320:中繼反射器
322:中繼器反射器主體

324:第一反射表面
 326:第二反射表面
 400:光學延遲線
 402:延遲線主體
 408:運動系統
 410:反射器
 412:延遲器
 430:偏振光束分離器
 500:中繼系統
 502:第一透鏡
 504:孔徑
 506:第二透鏡
 510:變焦透鏡組裝件
 512:第一透鏡
 514:第二透鏡
 516:第一透鏡群組
 518:第一透鏡
 520:第二透鏡
 522:第二透鏡群組
 524:第一定位器
 530:橫向中心線
 532:雷射光點
 532':雷射光點
 532'':雷射光點

A:距離

B:距離

C:距離

D₀:直徑

D₁:直徑

X₀:距離

X₁:距離

X₂:距離

X₃:距離

Z₀:距離

Z₁:距離

【發明申請專利範圍】

【請求項1】一種系統，其包含：

第一定位器，其經組態以使一雷射能量光束圍繞一樞軸點偏轉；

掃描透鏡，其可相對於該第一定位器移動；及

光學中繼系統，其經組態以對應於該掃描透鏡之移動而將該樞軸點中繼至該掃描透鏡。

【請求項2】如請求項1之系統，其中該第一定位器為選自由AOD系統及電流計鏡系統組成之群組的至少一者。

【請求項3】如請求項1或2中任一項之系統，其中該掃描透鏡可相對於該光學中繼系統移動。

【請求項4】如請求項2之系統，其中該光學中繼系統可相對於選自該掃描透鏡及該第一定位器之至少一者移動。

【請求項5】如請求項2之系統，其中該光學中繼系統包括：

光學輸入；

第一反射器，其具有第一反射表面，其中該第一反射器經配置以接收自該第一定位器傳播之該雷射能量光束；

光學輸出；及

第二反射器，其具有與該第一反射表面相對之第二反射表面，其中該第一反射表面及該第二反射表面經配置且經組態以將在該第一反射器處接收之該雷射能量光束自該光學輸入中繼至該光學輸出。

【請求項6】如請求項5之系統，其中該光學中繼系統進一步包括：

第一透鏡，其經配置且經組態以聚焦該光學中繼系統內之該雷射能量光束；

及

第二透鏡，其經配置且經組態以聚焦離開該光學中繼系統之該雷射能量光

束，

其中該第一透鏡及該第二透鏡經組態以放大該雷射能量光束。

【請求項7】如請求項6之系統，其中該第一透鏡經組態以將該雷射能量光束聚焦於與該第一反射表面及該第二反射表面分離之一點處。

【請求項8】如請求項5之系統，其進一步包含耦接至該光學中繼系統之載物台，其中該載物台可操作以改變該光學中繼系統相對於選自該掃描透鏡及該第一定位器之至少一者或其組合的位置。

【請求項9】如請求項2之系統，其中該光學中繼系統包括：

偏振光束分離器；及

延遲器，其經配置以與該偏振光束分離器光通信。

【請求項10】如請求項2之系統，其進一步包含配置於該光學中繼系統與該掃描透鏡之間的第二定位器。

【請求項11】如請求項10之系統，其中該第二定位器為選自由電流計、AOD系統、快速控制鏡及旋轉多邊形鏡組成之群組的至少一者。

【請求項12】一種光學中繼系統，其包含：

光學輸入；

第一反射器，其具有第一反射表面，其中該第一反射器經配置以接收自該第一定位器傳播之該雷射能量光束；

光學輸出；及

第二反射器，其具有與該第一反射表面相對之第二反射表面，其中該第一反射表面及該第二反射表面經配置且經組態以將在該第一反射器處接收之該雷射能量光束自該光學輸入中繼至該光學輸出。

【請求項13】如請求項12之光學中繼系統，其中該第一反射表面與該第二反射表面實質上彼此平行。

【請求項14】如請求項13之光學中繼系統，其中該第一反射表面與該第二反射表面彼此不平行。

【請求項15】如請求項12之光學中繼系統，其中該光學中繼系統進一步包括：

第一透鏡，其安裝於該光學輸入處；及

第二透鏡，其安裝於該光學輸出處。

【請求項16】如請求項1之系統，其中該第一定位器可相對於該光學中繼系統移動。

【請求項17】如請求項16之系統，其進一步包含耦接至該第一定位器之載物台，該載物台可操作以改變該第一定位器相對於該光學中繼系統之位置。

【請求項18】如請求項17之系統，其中該載物台為線性運動載物台。

【請求項19】如請求項16之系統，其中該第一定位器為選自AOD系統及電流計鏡系統組成之群組的至少一者。

【請求項20】一種光學中繼系統，其包含：

第一透鏡；

第二透鏡；

變焦透鏡組裝件，其配置於該第一透鏡與該第二透鏡之間，其中該變焦透鏡組裝件包括第一透鏡群組及第二透鏡群組，且其中該第一透鏡群組及該第二透鏡群組中之每一者包括複數個透鏡。

【請求項21】如請求項20之光學中繼系統，其中該變焦透鏡組裝件可相對於該第一透鏡及該第二透鏡中之至少一者移動。

【請求項22】如請求項21之光學中繼系統，其中該變焦透鏡組裝件安裝於第一定位器上。

【請求項23】如請求項22之光學中繼系統，其中該第一定位器為運動載物

台。

【請求項24】如請求項20之光學中繼系統，其中該第一透鏡及該第二透鏡中之至少一者係選自由正透鏡、平面凸透鏡、雙凸透鏡及正凹凸透鏡組成之群組。

【請求項25】如請求項20之光學中繼系統，其中該第一透鏡群組及該第二透鏡群組為相對於該變焦透鏡組裝件之一橫向中心線對稱地配置的攝遠雙合透鏡。

【請求項26】如請求項20之光學中繼系統，其中該第一透鏡群組中之至少兩個透鏡之間的一距離及該第二透鏡群組中之至少兩個透鏡之間的一距離為固定的。

【請求項27】如請求項20之光學中繼系統，其中該第一透鏡群組中之至少兩個透鏡之間的一距離及該第二透鏡群組中之至少兩個透鏡之間的一距離為可變的。

【請求項28】如請求項27之光學中繼系統，其中該第一透鏡群組安裝於第二定位器上，該第二定位器經組態以調整該第一透鏡群組中之至少兩個透鏡之間的該距離。

【請求項29】如請求項28之光學中繼系統，其中該第二定位器為運動載物台。

【請求項30】如請求項27之光學中繼系統，其中該第二透鏡群組安裝於第三定位器上，該第三定位器經組態以調整該第二透鏡群組中之至少兩個透鏡之間的該距離。

【請求項31】如請求項30之光學中繼系統，其中該第三定位器為運動載物台。

